



**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko – geologická fakulta**

**Institut environmentálního inženýrství**

**MONITORING MOKRÉ DEPOZICE NA ÚZEMÍ  
OKRESU OPAVA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:**

Soňa Chříbková

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Jarmila Drozdová, Ph.D.

Ostrava 2016

**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**Faculty of Mining and Geology**

**Institute of Environmental Engineering**

# **MONITORING OF WET DEPOSITION IN DISTRICT OPAVA**

**BACHELOR'S THESIS**

**Author:**

Soňa Chříbková

**Supervisor:**

Ing. Jarmila Drozdová, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Soňa Chříbková**  
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904R005 Environmentální inženýrství  
Téma: **Monitoring mokré depozice na území okresu Opava**  
**Monitoring of wet deposition in district Opava**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Charakteristika oblasti a přírodní poměry
3. Atmosférická depozice
  - 3.1. Suchá depozice
  - 3.2. Mokrý depozice
4. Metodika odběru a analýzy vzorků
5. Vyhodnocení chemického složení (kvality) mokré depozice
  - 5.1. Srovnání s dalšími okresy v ČR
  - 5.2. Srovnání se zahraničím
6. Závěr

Rozsah závěrečné práce 35-50 stran

### Seznam doporučené odborné literatury:

- BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ. Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. Vyd. 1. V Praze: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.
- PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. aktualiz. vyd., Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- ČHMÚ. Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika: Tabelární ročenky. Praha, 2015. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/tab\\_roc\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html)
- ZAPLETAL, Miloš. Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice. Opava: Slezská univerzita, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav historických věd, 2014, 135 s. ISBN 978-80-7510-085-6.
- ŠÍR, Miloslav (ed.) a Miroslav TESAR (ed.). Atmosférická depozice 2004. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, 2004, 136 s. ISBN 80-020-1659-9.
- CALVO, A.I., F.J. OLMO, H. LYAMANI, L. ALADOS-ARBOLEDAS, A. CASTRO, M. FERNÁNDEZ-RAGA a R. FRAILE. Chemical composition of wet precipitation at the background EMEP station in Vízcar (Granada, Spain) (2002–2006). Atmospheric Research. 2010, 96(2-3): 408-420. DOI: 10.1016/j.atmosres.2010.01.013. ISSN 0169-8095.
- AKPO, A.B., C. GALY-LACAUX, D. LAOUALI, C. DELON, C. LIOUSSE, M. ADON, E. GARDRAT, A. MARISCAL a C. DARAKPA. Precipitation chemistry and wet deposition in a remote wet savanna site in West Africa: Djougou (Benin). Atmospheric Environment. 2015, 115: 110-123. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.064. ISSN 1352-2310.

KAJINO, Mizuo a Masahide AIKAWA. A model validation study of the washout/rainout contribution of sulfate and nitrate in wet deposition compared with precipitation chemistry data in Japan. *Atmospheric Environment*. 2015, 117: 124-134. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.06.042. ISSN 13522310.

QIAO, Xue, Ya TANG, Jianlin HU, Shuai ZHANG, Jingyi LI, Sri Harsha KOTA, Li WU, Huilin GAO, Hongliang ZHANG, et al. Modeling dry and wet deposition of sulfate, nitrate, and ammonium ions in Jiuzhaigou National Nature Reserve, China using a source-oriented CMAQ model: Part I. Base case model results. *Science of The Total Environment*. 2015, 532: 831-839. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.108. ISSN 00489697.

TSAI, Ying I., Li-Ying HSIEH, Su-Ching KUO, Chien-Lung CHEN a Pei-Ling WU. Seasonal and rainfall-type variations in inorganic ions and dicarboxylic acids and acidity of wet deposition samples collected from subtropical East Asia. *Atmospheric Environment*. 2011, 45(21): 3535-3547. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.001. ISSN 13522310.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jarmila Drozdová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní podobě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencování pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne: 29. 4. 2016

Soňa Chříbková

.....

## **Poděkování**

Moc děkuji všem, kteří mi pomohli při tvorbě této bakalářské práce. Především bych chtěla poděkovat Ing. Jarmile Drozdové, Ph.D., za odborné vedení při psaní této práce. Hlavně za její cenné rady, za poskytnutí odborných materiálů, za velmi důležité rady, ale také především za její trpělivost a pomoc. Také bych dále chtěla poděkovat Ing. Silvii Bielešzové za zpracování vzorků dešťové vody.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na monitoring mokré depozice na území okresu Opava. Úvodní část práce je věnována charakteristice jednotlivých lokalit v daném území, meteorologickým a klimatickým poměrům v okrese Opava, geologickým a geomorfologickým poměrům. Další kapitola se zabývá atmosférickou depozicí, kde je popsáno rozdělení atmosférické depozice a následné podrobné popsání mokré depozice a její rozdělení. Dále následuje metodika odběrů vzorků, na níž navazuje vyhodnocení chemického složení (kvality) mokré depozice a jednotlivé srovnání mezi okresy v České republice. V závěru práce je provedeno srovnání s hodnotami stanovenými v zahraničí.

**Klíčová slova:** mokrá depozice, okres Opava, analýza vzorků, monitoring, atmosférické srážky

## **Summary**

This thesis is focused on monitoring of wet deposition in region of Opava district. The preliminary part is concerning on attributes of partial localities of the stated district, meteorological and climatical conditions in Opava district and geological and geomorphological conditions. The next chapter is concerning on atmospherical deposition, where is described dividing of atmospherical deposition and subsequent detailed description of wet deposition and its sorting. Methods of sampling follows then and evaluation of chemical composition (quality) of wet deposition and comparison among districts in Czech republic. In conclusion, the results were compared with and foreign countries.

**Key words:** wet deposition, Opava district, analysis of samples, monitoring, atmospheric precipitation



## Obsah

1	Úvod a cíl práce .....	1
2	Charakteristika oblasti a přírodní poměry .....	3
2.1	Meteorologické a klimatické poměry okresu Opava .....	4
2.2	Srážkové poměry.....	4
2.3	Geologické a geomorfologické poměry .....	5
2.4	Pedologické poměry .....	9
2.5.	Charakteristika odběrových lokalit .....	9
3	Atmosférická depozice .....	16
3.1	Mokrý depozice .....	16
3.1.1	Srážkové procesy .....	17
3.1.2	Rozdělení srážek podle vzniku .....	17
3.1.3	Rozdělení srážek podle intenzity a podle rozsahu zasaženého území .....	19
3.1.4	Složení atmosférických srážek.....	19
3.2	Suchá depozice.....	25
3.3	Systém sledování atmosférické depozice v České republice .....	25
3.4	Měření atmosférické depozice .....	26
3.5	Metody odběru vzorků .....	27
3.6	Vývoj složení atmosférické depozice.....	30
4	Metodika odběru a analýzy vzorků.....	32
5	Vyhodnocení chemického složení (kvality) mokré depozice .....	35
5.1	Srovnání jednotlivých lokalit .....	41
5.2	Srovnání s dalšími okresy v ČR.....	43
5.3	Srovnání se zahraničím .....	48
6	Závěr .....	51
7	Seznam použité literatury .....	52

8	Seznam elektronických zdrojů.....	56
9	Seznám použitých obrázků .....	57
	Seznam obrázků.....	59
	Seznam tabulek.....	60
	Seznam grafů .....	61

## 1 Úvod a cíl práce

Srážková voda je součástí hydrologického cyklu na planetě Zemi. Jelikož dešťové mraky vznikají odpařováním, mohla by být dešťová voda vlastně vodou destilovanou, tedy čistou bez rozpuštěných látek. Už v atmosféře však dochází ke kontaktu této vody s různými chemickými látkami. Dešťová voda po průchodu atmosférou vykazuje hodnotu asi 5,6 pH, protože se váže mimo jiné také s  $\text{CO}_2$ , obsaženým ve vzduchu. Znečištění dešťové vody je způsobeno zachytem rozpuštěných a nerozpuštěných látek při průchodu atmosférou. K dalšímu znečištění dešťové vody dochází během dešťové události při kontaktu a následném splachu z nejrozličnějších povrchů vyskytujících se v daném území. Mezi tyto povrchy patří např. zemědělská půda, komunikace, střechy budov, vegetace a další. Opatřováním stavebních částí budov, například vlivem vody, slunce, mrazu a deště, se uvolňují částičky cihel, betonu, kovů, barev, skla apod. Tyto částice tvoří značnou část znečištění v dešťovém odtoku.

Znečišťujících látek, včetně látek, které jsou výsledkem chemických reakcí, se atmosféra zbavuje prostřednictvím atmosférické depozice. Atmosférická depozice se dělí na suchou a mokrou, přičemž mokrá depozice je zajišťována především atmosférickými srážkami. Atmosférické srážky vznikají následkem kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší. Také se významně podílejí na tzv. vymývání atmosféry. Díky těmto procesům jsou látky z atmosféry transportovány na zemský povrch, což má význam jak pozitivní, kdy dochází k odstraňování znečišťujících látek z atmosféry, tak i negativní, neboť dochází k přestupu látek z ovzduší pomocí depozičních procesů do jiných složek prostředí a tím je zapříčiněno jejich znečištění. V České republice je atmosférická depozice sledována Českým hydrometeorologickým ústavem. Pro měření koncentrací znečišťujících látek jsou používány přístroje a metody, které jsou prováděny buď manuálně, nebo na automatických stanicích.

Území okresu Opava je zatíženo znečišťujícími látkami, které pocházejí především ze spalování fosilních paliv, ze spalovacích průmyslových zařízení, z lokálních topenišť a automobilové dopravy. Okres Opava se nijak výrazně neliší od situace ve zbytku Moravskoslezského kraje. Významný vliv má také jeho příhraniční poloha, kdy sousedí ze severní části s Polskou republikou, odkud pochází značná část znečišťujících látek.

V otázce ochrany životního prostředí však v posledních letech dochází s Polskou stranou k významné spolupráci.

Cílem této práce bylo provedení monitoringu mokré depozice v průběhu zimního období na vybraných lokalitách území okresu Opava. Dalším cílem bylo vyhodnotit výsledné složení odebraných vzorků dešťových vod, identifikovat významné zdroje znečištění a v neposlední řadě provést srovnání s dalšími okresy v ČR a se zahraničím.

## 2 Charakteristika oblasti a přírodní poměry

Okres Opava se nachází na severu Moravy, je součástí Moravskoslezského kraje. Severní část regionu tvoří státní hranici s Polskem. Část jihozápadní hranice regionu je tvořena řekou Odrou, která opouští území v nejnižnější části okresu u Spalovského mlýna. Východní část hranice sahá opět k řece Odře. Region kromě Polska sousedí s dalšími čtyřmi okresy, a to s Novým Jičínem, Ostravou, Olomoucí a s Bruntálem. Délka hranic je dlouhá 246 km a rozloha regionu činí 1 126 km (Frank, 2005). Okres Opava se dělí na čtyři správní obvody obcí s rozšířenou působností (viz. obrázek 1). Do okresu Opava spadá celkem 77 obcí, z toho 7 měst.

Značnou část Opavska tvoří Poopavská nížina, která se rozkládá v široké říční nivě řeky Opavy a jejích přítoků. Přímo v této nivě a na jejích okrajích se nachází tyto chráněná území (Kubačka, 2004):

- Přírodní rezervace Hvozdnice (vyhlášena v roce 1988)
- Přírodní památka Otická sopka (vyhlášena v roce 1991)
- Přírodní rezervace Hořina (vyhlášena v roce 1948)
- Přírodní památka Hůrky (vyhlášena v roce 1995)
- Přírodní památka Úvelanské louky (vyhlášena v roce 1957)
- Přírodní památka Heraltický potok (vyhlášena v roce 1991)
- Přírodní rezervace V Kalužích (vyhlášena v roce 1988)



Obrázek 1 Administrativní mapa okresu Opava (czso.cz, 2008)

## 2.1 Meteorologické a klimatické poměry okresu Opava

Meteorologické a klimatické podmínky jsou monitorovány Českým hydrometeorologickým ústavem již od roku 1994. Především hlídají předpovědi počasí, aktuální stav a hydrologickou situaci. Jedná se například o aktuální předpověď, kde se dozvíme průměrnou teplotu, tlak a počasí. Tyto předpovědi mohou ještě být týdenní, dlouhodobý výhled počasí, nebo také biometeorologická předpověď, která platí pro polohy do 600 m n. m. Území okresu Opava je otevřeno baltickému klimatu, do něhož zasahuje kontinentální podnebí. Počasí se vyznačuje mírnějším létem, teplým podzimem a dostatečnými srážkami. Dešťové srážky jsou na území okresu rozděleny nepravidelně (ČSÚ, 2012). Mezi důležité meteorologické podmínky, které se významně podílejí na vlivu rozptýlení škodlivých látek v ovzduší, patří směr a rychlost větru, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu. Důležitým faktorem je teplotní zvrstvení, které určuje stabilitu atmosféry (Blažek, 2013).

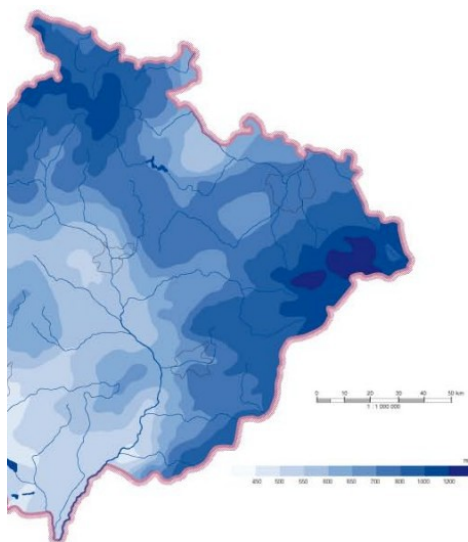
Quittova klasifikace podnebí rozeznává 23 jednotek ve třech oblastech, a to v chladné, mírně teplé a teplé oblasti, popsanych jistými kombinacemi hodnot 14 klimatologických charakteristik (Tolasz et al., 2007). Dle Quittovy klasifikace řadíme území okres Opava do dvou klimatických oblastí. Chladné (CH) a mírně teplé (MT). Chladná oblast zasahuje jen okrajově na Budišovsku. Mírně teplá klimatická oblast (MT3) leží na Vítkovsku. Na severovýchod od řeky Opavy (tj. Hlučínsko) a podél řeky Opavy se nachází oblast MT10 (dlouhé, teplé a mírně suché léto). Zima je krátká, mírně teplá, velmi suchá a krátké trvání sněhové pokrývky. Přechodné období je krátké, mírně teplé jaro a mírně teplý podzim. Mírné oteplení v okrese lze dokumentovat na Hlučínsku, které nově zapadá do teplé oblasti T1 (nejvlhčí) a T2 (teplé), (Kabučka, 2004).

## 2.2 Srážkové poměry

Dešťové srážky jsou na území rozděleny nepravidelně. Nejméně srážek připadá na severozápadní část od města Opavy, protože zde zasahuje dešťový stín Hrubého Jeseníku. Ročně zde spadne okolo 620 mm srážek. Naopak místo s nejvyšším úhrnem srážek je Červená hora s ročním průměrem 810 mm. Průměrné množství ročních srážek

činí 640 mm. K měsícům s největším počtem dní, ve kterých spadne 0,1 mm srážek a více, patří červen, červenec a srpen. Zcela výjimečný stav nastal v roce 1997, kdy na území Opavska dne 6. 7. dopadlo nejvíce srážek za posledních sto let. Hladiny toků se zvedly až o 2 metry, na některých místech dokonce až o 3 metry proti normálnímu stavu a nejen na Opavsku, ale skoro na celém území Moravy a částečně východních Čechách nastaly katastrofické povodně (Frank a kol., 2005).

Území okresu Opava je charakteristické relativně nízkými srážkami, které můžeme vidět na obrázku 2 s průměrným ročním úhrnem srážek dle Quitta (Tolasz et al., 2007).



Obrázek 2 Průměrný roční úhrn srážek (Tolasz et al., 2007)

## 2.3 Geologické a geomorfologické poměry

### Geologický vývoj

Z hlediska geologického vývoje můžeme okres Opava rozdělit na dvě části. Západní část, která je součástí Českého masivu, zatímco východní část náleží Západním Karpatům (Frank, 2005).

## **Prvohory a druhohory**

Geologický vývoj Opavska lze sledovat již od prvohor, kdy území bylo součástí variského horstva. V devonském období byl okres zalit mořem a vytvořily se zde vrstvy usazenin pískovce, slepence a břidlice. Karbonského stáří jsou horniny podloží opavské pánve. V druhohorách bylo Opavsko souší, jedná se relativně o klidné období. Z druhohor jsou známé horniny z Vrtu u Hněvošic (Chlupáč, 2011).

## **Třetihory**

V období třetihor bylo území znovu zaplaveno mořem. Během třetihorního vrásnění byla parovina Nízkého Jeseníku rozlámána, na zlomových liniích se projevila sopečná činnost. Neovulkanity se vyskytují u Otice – Kamenná hora, Hůrka u Štěplovce, k výlevům čediče došlo u Koberic a Budišovic (Chlupáč, 2011).

## **Čtvrtohory**

Na území České republiky zasáhl v salském a elsterském zalednění okraj severského pevninského ledovce. Opavsko bylo pokryto ledovcem téměř z poloviny své rozlohy. Pozůstatkem zalednění jsou ledovcové uloženiny, jako jsou například glacigenní sedimenty, nacházející se právě v oblastech, které byly pokryty horskými nebo pevninskými ledovci. Mezi glacigenní sedimenty na území Opavska patří souvkové hlíny v okolí Opavy, Kravař, Píště, Vřesiny, Štěpánkovic a Uhlířova. Glacilakustrinní písky, glacilakustrinní jíly, varity a horniny skalního podkladu (Chlupáč, 2011).

Na území okresu Opava se vyskytují bludné balvany, které pocházejí ze Skandinávie a Pobaltí. Největší bludný balvan o hmotnosti 11,7 t byl nalezen v pískovně na Palhanci. V současné době je umístěn v městských sadech v Opavě (Frank, 2005).



## Geomorfologické poměry

Z hlediska geomorfologického členění patří území okresu Opava ke dvěma provinciím, a to k České vysočině a Středoevropské nížině (Brandos, 2009). Její následné rozdělení můžeme vidět v tabulce 1.

Reliéf Opavské pahorkatiny byl modelován ve čtvrtohorách, kdy na území pronikl pevninský ledovec. Pozůstatkem této činnosti je souvislý pás morénových uloženin. Reliéf podél řeky Opavy je plochý s širokou nivou a terasami řeky Opavy. Naopak Hlučínská pahorkatina je zvlněná. Má zaoblené hřbety a mělké široké údolí s úvalovitým a neckovitým přísným profilem. Většina tohoto území je pokryta sprašovými hlínami. Nejvyšším bodem je kopec Almín měřící 315 m n. m (Vencálek, 1995, Demek, 2014).

V Nížkém Jeseníku se vyskytují nejstarší tvary georeliéfu. Vzniklý povrch v době variského vrásnění byl v permu (paleozoikum) zarovnan v parovinu. Při Alpínském vrásnění došlo ke kerným pohybům a následnému zdvihu Nížkého Jeseníku a poklesu ker, čímž vznikla Opavská pánev. Svahy Nížkého Jeseníku jižně od města Opavy jsou výrazně omezeny příkrým zlomovým svahem. Naopak západní a severozápadní omezení od Opavy je málo výrazné. Zde se zároveň nachází část Nížkého Jeseníku s nejnižší polohou, výška okolo 320 m n. m. Pro území jsou charakteristické pravoúhlé ohyby údolí řek (Demek a kol., 1965, Weissmannová, 2004).

**Tabulka 1 Geomorfologické jednotky Opavska (Demek a Mackovčín, 2014)**

<b>Provincie</b>	<b>Česká vysočina</b>	<b>Středoevropská nížina</b>
<b>Subprovincie</b>	IV Krkonošsko-jesenická	VII Středopolské nížiny
<b>Oblast</b>	IV C Jesenická oblast	VII A Slezská nížina
<b>Celek</b>	IV C-7 Nížký Jeseník	VII A-1 Opavská pahorkatina
<b>Podcelek</b>	IV C-8 B Stěbořická pahorkatina	VII A-1 B Poopavská nížina
<b>Okrsky</b>	IV C-8 B-a Heraltická pahor.	VII A-1 B-a Otická nížina

**Pokračování tabulky 1 Geomorfologické jednotky Opavska**

<b>Okrsky</b>	<b>Česká vysočina</b>	<b>Středoevropská nížina</b>
	IV C-8 B-b Zlatnická pahorkatina	VII A-1 B-b Opavsko-moravická niva
	VII A-1 B-c Kravařská rovina	
	VII A-1 B-d Komárovská nížina	
<b>Podcelek</b>	IV C-8 Domašovská vrchovina	VII A-1 C Hlučínská pahorkatina
<b>Okrsky</b>	IV C-8 E-c Libavská vrchovina	VII A-1 C-a Kobernická pahorkatina
	IV C-8 E-d Červenohorská vrchovina	VII A-1 C-b Vřesinská pahorkatina
<b>Podcelek</b>	IV C-8 F Vítkovská vrchovina	
<b>Okrsky</b>	IV C-8 F-a Leskovecká pahorkatina	
	IV C-8 F-b Melčská vrchovina	
	IV C-8 F-c Heřmanická vrchovina	
	IV C-8 F-h Těškovická pahorkatina	
	IV C-8 F-i Děhylovská pahorkatina	

## **2.4 Pedologické poměry**

Z pohledu pedologie je území okresu Opava zařazeno do oblasti hnědozemních půd. Na území převládají hnědé půdy oglejené, glejové půdy, místy, hlavně kolem vodních toků, i nivní půdy. Jsou to půdy převážně hlinité s výrazným zastoupením prachu a půdy hlinitopísčité (Tomášek, 2003).

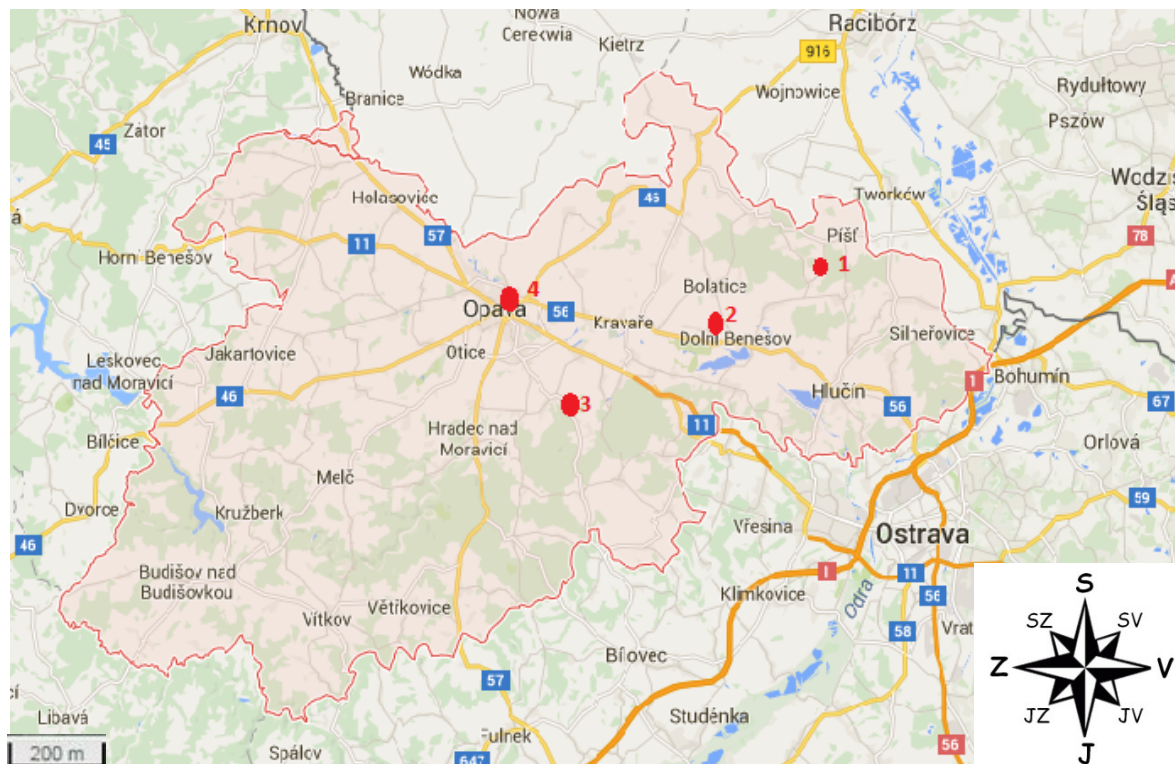
Území okresu Opava je z velké části zařazeno do zemědělské přírodní oblasti nížinné. Terénní poměry na území okresu Opavy jsou velmi rozdílné. Od rovinatého terénu s dobrou mechanizační přístupností po terén členitý, místy svažité, se zhoršenou mechanizační přístupností. Celkově patří území okresu Opava mezi oblasti velmi vhodné pro zemědělskou výrobu. Jedná se o oblast s kvalitními půdami (Weissmannová, 2004).

Území okresu Opava spadá z hlediska zemědělské výroby z větší části do zemědělské výrobní oblasti Ř1 – řepařská – velmi dobrá a Ř2 – řepařská průměrná, Suché Lazce Ř3 – řepařská, horší, převažuje výrobní podtyp řepařsko-žitný, Podvihov B2 – bramborářská střední, převažuje výrobní podtyp bramborářsko-žitný. Toto zařazení bylo zjištěno dle údajů Českého úřadu zeměměřictví a katastru (Weissmannová, 2004).

Nejrozšířenějším druhem je na území okresu Opava půda zemědělská. Ta činí okolo 74 % z celkové výměry (Weissmannová, 2004).

## **2.5. Charakteristika odběrových lokalit**

Lokality pro následné provedení monitoringu mokré depozice byly pečlivě vybrány na základě zatížení ovzduší různými zdroji znečištění. Dále byla vybrána jedna lokalita jako pozadová, kde by mělo být minimální, nebo žádné znečištění. Celkem tedy byly vybrány čtyři lokality, jejichž umístění v rámci okresu Opava je znázorněno na obrázku 3. Přesné umístění lokalit uvádí tabulka 2.



Obrázek 3 Mapa odběrových lokalit v měřítku 1:25 000 (google.cz/maps [online], 2016)

Tabulka 2 Označení lokalit

Odběrová lokalita	Číselné označení	Adresa	GPS
Závada	1	Závada, č. p. 75	49°57'6.007"N, 18°10'5.156"E
Dolní Benešov	2	Opavská 167	49°55'16.526"N, 18°6'42.202"E
Suché Lazce	3	U Kašny 10/1	49°54'5.894"N, 17°59'13.521"E
Opava	4	Hillová č. p. 1010/2	49°56'46.649"N, 17°54'41.648"E

## Závada

Závada je malá obec s počtem obyvatel 595, která se nachází v severovýchodní části České republiky v Moravskoslezském kraji. Leží v nadmořské výšce 278 m n. m. v Hlučínské pahorkatině a je vzdálena 5 km od státní hranice s Polskem (Štěpán, 2007).

Obec je obklopena lesní krajinou, která je zastoupená více druhy dřevin. Tudiž se jedná o smíšený les, který se nachází v mírném pásmu. Smíšené lesy tvoří více než 80 % celkové plochy našich lesů. Tyto lesy se také nazývají lesy hospodářské, a jsou to ty lesy, které nebyly zařazeny mezi lesy ochranné a lesy zvláštního určení. Jejich hlavním úkolem je produkce dřevěné hmoty, ale současně plnit další funkce, jako je například akumulace vody (Štěpán, 2007).

Tato lokalita byla vybrána, jelikož by zde neměl být žádný zdroj znečištění. Minimální znečištění zde však může způsobovat spalování fosilních paliv v lokálních topeništích, případně hnojiva, která jsou používána na hnojení polí, i když tyto hnojiva jsou přírodního původu → kompost. Na obrázku 4 je vyznačená obec s místem odběru, kde můžeme vidět, že z největší části je obklopená lesními porosty a následně zemědělskou půdou.



Obrázek 4 Část mapy obce Závada v měřítku 1:25 000 (mapy.cz [online], 2016)

## Dolní Benešov

Dolní Benešov se nachází na jižním okraji hluchácké pahorkatiny v nadmořské výšce 231 m n. m. Území města je bez lesních porostů, má však dvě zvláštní chráněné přírodní oblasti, a to v okolí rybníka Přehyně a Zábřežské louky s charakteristickou močálovou florou (Plaček a Plačková, 2002). Město leží uprostřed komunikačního tahu mezi okresním městem Opavou a krajským městem Ostravou (Plaček a Plačková, 2002). Dolní Benešov spadá do mírně teplé a mírně vlhké klimatické oblasti s mírnou zimou. Mateční substrátem jsou spraše, svahoviny s podložím kulmských hornin, glaciofluvialních štěrkopísků a sedimentů mořského neogénu (Kubačka, 2004).

Tato lokalita byla vybrána, jelikož je velmi zatížená výfukovými plyny z automobilové a nákladní dopravy. Příčinou je přítomnost velmi frekventované silnice I. třídy číslo 56, která městem prochází a je spojnici mezi městy Ostrava a Opava. Jak můžeme vidět na obrázku 5 ve městě a jeho okolí nejsou žádné lesní porosty, jen minimální zemědělské půdy a především je zde hlavní frekventována silnice. Červenou číslíci 2 je vyznačené odběrové místo, které se nacházelo přímo u hlavní silnice.

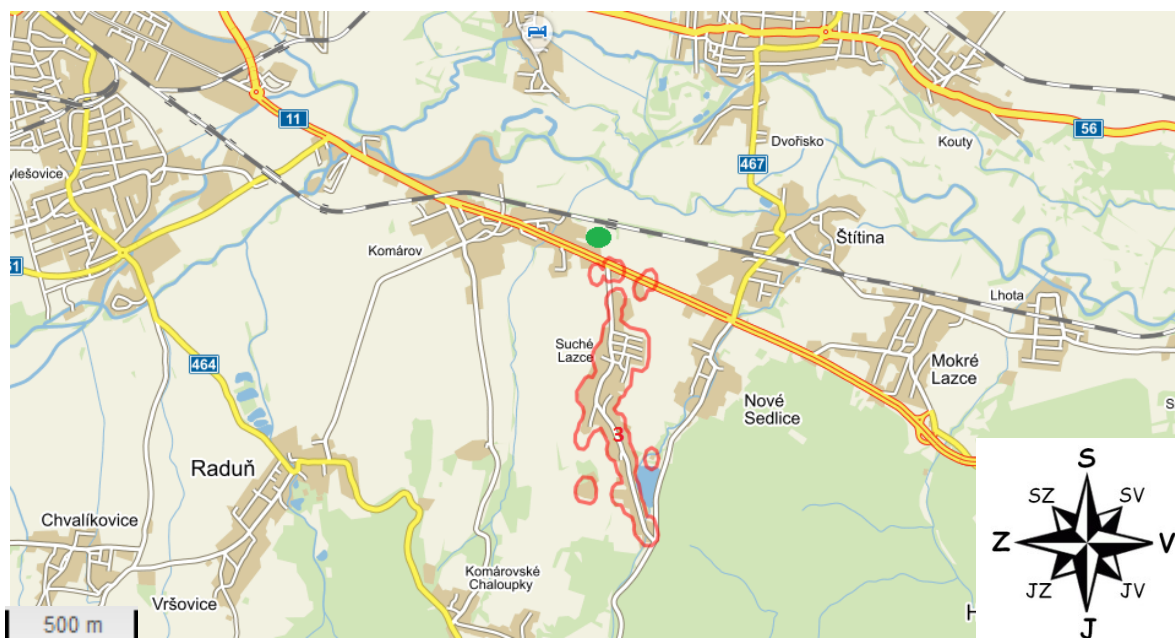


Obrázek 5 Část mapy města Dolní Benešov v měřítku 1:25 000 (mapy.cz [online], 2016)

## Suché Lazce

Suché Lazce patří k městu Opava, která je vzdálená cca 4 km. Tato příměstská část leží v nadmořské výšce 245 m. n. m. Suché Lazce o rozloze 447,81 ha jsou z velké části zabrané ornou půdou (306,63 ha), lesy (19,67 ha) a zastavěnou plochou (58,25 ha) (Závěšický, 2010). Z klimatického hlediska náleží do regionu mírně teplý a mírně vlhký. Počet letních dnů je v roce 40, mrazových dnů je okolo 120, průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou je zde 70 (Paciorková, 2008). Suché Lazce se rozkládají po obou stranách historické hranice vlastního Slezska a takzvaných Moravských enkláv ve Slezsku. I když příměstská část Suché Lazce náleží městu Opava, má tato část vesnický charakter (Závěšický, 2010).

Hlavním zdrojem znečištění v dané lokalitě je nedaleká farmaceutická společnost Teva, kde se vyrábějí léčiva. Na obrázku 6 je vyznačena zeleným bodem farmaceutická společnost a červenou číslicí 3 je označeno odběrové místo. Minoritním zdrojem znečištění zde mohou být emise z automobilové dopravy a lokálních topenišť.



Obrázek 6 Část mapy příměstské části Suché Lazce v měřítku 1:25 000(mapy.cz [online], 2016)



## **Město Opava**

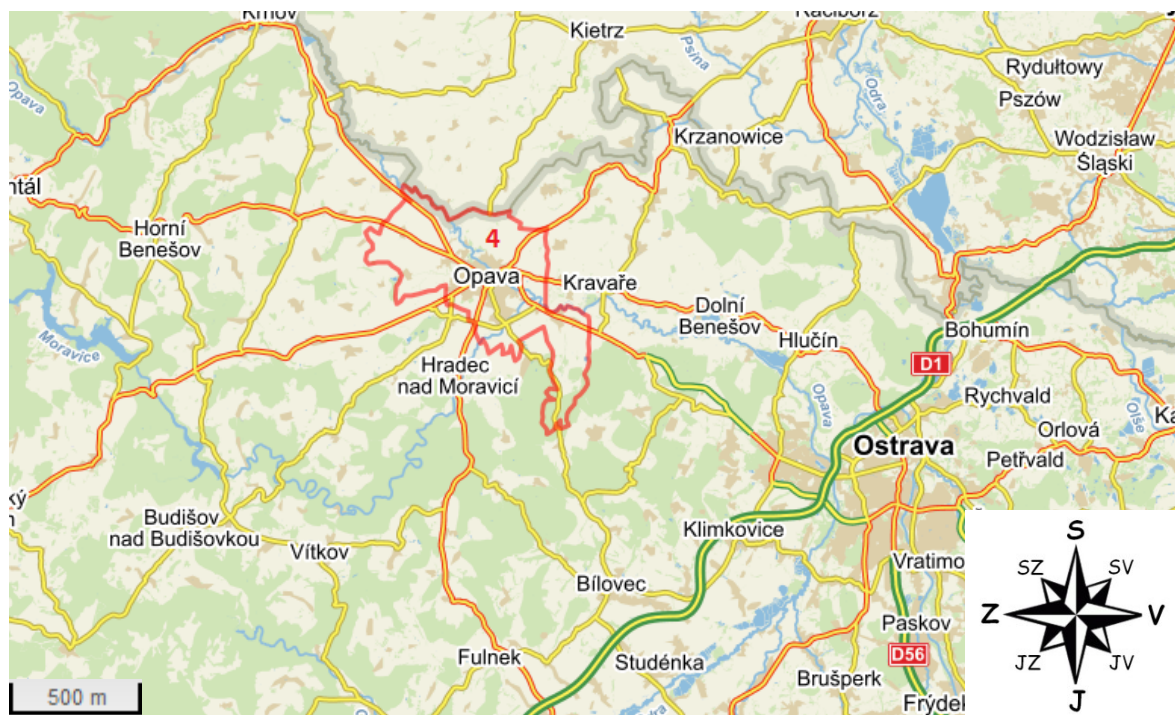
Město Opava náleží k Moravskoslezskému kraji. Město leží na Opavské pahorkatině a na řece Opavě (Čapský, Müller a Žáček, 2006).

Opava je bývalé královské a zemské město (od roku 1850 až do roku 1948). Od roku 1990 je Opava statutární město. Město leží v Opavské pahorkatině na řece Opavě. Většina území města Opavy leží ve Slezsku, ale čtyři jeho části (Kravařov, Suché Lazce, Vlaštovičky a Jaktař) patřily k tzv. moravským enklávám ve Slezsku. Opava byla od roku 1742 do 30. listopadu 1928 hlavním městem Českého Slezska se zemskými úřady. Samotné město má s městskými částmi skoro 60 tisíc obyvatel. V městě se nacházejí významné stavby jako je například Kostel sv. Vojtěcha, Barokní Blücherův palác, Minoritský klášter s kostelem sv. Ducha, Městská radnice s věží Hláška, Kostel sv. Hedviky, atd. Tyto stavby jsou stavěny v určitém uměleckém slohu v renesanci, v gotice, nebo v baroku (Hosák, 2004).

Z klimatického hlediska v Opavě převažuje především chladnější jaro a teplejší, suchý a slunný podzim. Vyskytuje se zde mnoho vodních nádrží například Stříbrné jezero, rybník na Chmutovci, tůňka Frajhůzy atd. Před započítáním hospodářské činnosti člověka pokrývaly celé území téměř stoprocentně lesní biocenózy, v nichž hlavními porostotvornými dřevinami byl dub zimní a dub letní. V zemědělsky využívané krajině jsou porosty, omezující se na menší, někdy větší remízky, druhově velmi chudé. Při velkoplošném hospodaření velmi utrpěly stavy koroptve polní a zajíce polního. V posledních letech z důvodu nemoci téměř vymizel králík divoký a jiná lovná zvěř jako je například: prase divoké, srnec lední, liška obecná, aj. (Kubačka, 2004).

Tato lokalita byla vybrána především proto, že se zde nachází více zdrojů znečištění. Hlavním zdrojem znečišťujících látek je v této lokalitě průmyslové odvětví. Nachází se zde například strojírenský průmysl, chemický průmysl, výroba barev a laků, atd. Další zdroje pocházejí ze spalování fosilních paliv, z výfukových plynů, z hromadné automobilové a nákladní dopravy, nebo také ze železniční dopravy. Na obrázku 7 je vyznačené celé město Opava a odběrové místo je vyznačeno červenou číslicí 4.

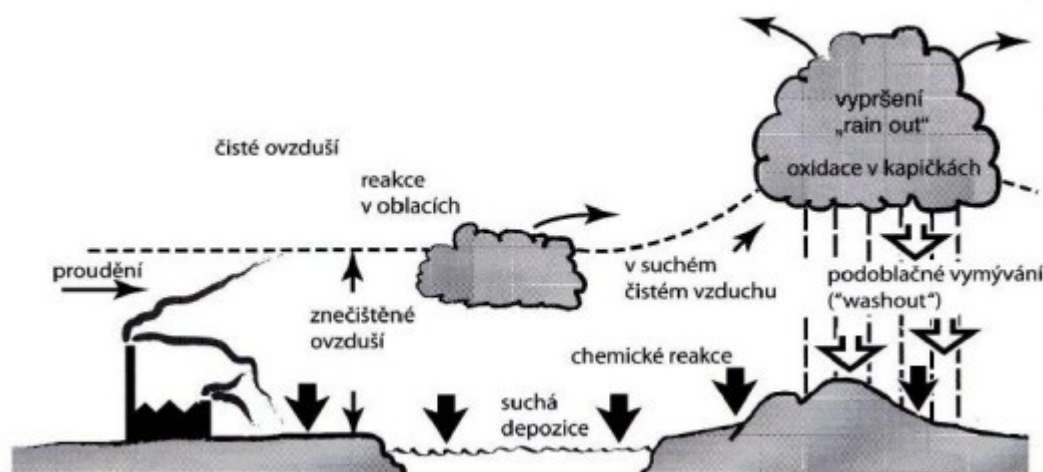




Obrázek 7 Část mapy města Opavy v měřítku 1:25 000(mapy.cz [online], 2016)

### 3 Atmosférická depozice

Atmosférická depozice představuje velmi důležitý cyklus samočištění atmosféry, který umožňuje látkám v ovzduší přecházet do jiných složek životního prostředí. Složitými procesy se atmosférická depozice zbavuje z ovzduší plyných a tuhých částic včetně škodlivých látek antropogenního původu, ale zároveň atmosférická depozice představuje mechanismus látkového vstupu do ostatních složek prostředí (hydrosféry, pedosféry, litosféry, kryosféry, biosféry). Celková depozice se skládá z depozice mokré a suché (Šír a Tesař, 2004). Atmosférická depozice se dělí podle způsobu, jak se dostává na zemský povrch a to na suchou a mokrou depozici (Braniš et al., 2009). Na obrázku 8 můžeme vidět přenos znečišťujících látek z atmosféry k povrchu země.



Obrázek 8 Procesy způsobující atmosférickou depozici (Hůnová a Janoušková, 2004)

#### 3.1 Mokrá depozice

Mokrá depozice se dá rozdělit na vertikální a horizontální složku. Mezi nejrozšířenější mokrou depozici řadíme vertikální složku, kde patří déšť, nebo sněhové srážky. Uvedené složky se podrobně zkoumají na základě odběrů vzorků srážek a dále se chemicky analyzují (Vysoudil, 2002). Málo významné a poznané jsou horizontální složky, kde řadíme mlhy, nebo námrazy – což je bílá zrnitá usazenina, především na návětrných stranách (Vysoudil, 2002).

Důsledkem mokré depozice se do srážek dostávají látky z ovzduší (aerosoly, plyny a pevné částice). Tyto látky se do srážek dostávají dvěma způsoby. Prvním způsobem je jejich výskyt v mracích, což jsou horizontální srážky a druhým způsobem jsou látky, které jsou vymývány při průchodu srážek ovzduším. Tímto způsobem se k půdnímu povrchu dostane velké množství různých sloučenin jak anorganických tak i organických (Řezáčová a kol., 2007).

V České republice na plochu o velikosti 1 m<sup>2</sup> spadne ročně v průměru 748 litrů vody a každý 1 litr srážkové vody obsahuje průměrně 10 g rozpuštěných látek. Obvykle se množství znečišťujících látek uvádí v jednotkách kg/ha/rok (Vysoudil, 2002).

### **3.1.1 Srážkové procesy**

Vznik a projev atmosférických srážek je vysoce komplexní, dynamický a nelineární fyzikální proces. Tento proces je podmíněn nasycením vzduchu vodními parami, teplotou, umožňující kondenzaci, nebo mrznutí vodních par a přítomností kondenzačních jader, na kterých se vodní kapky, nebo ledové krystaly vytvářejí a rostou (Krejčí a Gujer, 2002).

K adiabatickému ochlazení vzduchu na teplotu rosného bodu dochází tepelnou konvekcí (stoupáním vzduchových vrstev po předcházejícím ohřátí nestejnorodého povrchu během letních slunečních dnů), orografickými vlivy (stoupáním vzduchu vynuceném při přechodu orografické překážky – pohoří), nebo konvergencí (výkluznými pohyby vzduchových vrstev po frontálních plochách teplejších, nebo chladnějších vzduchových hmot), (Krejčí a Gujer, 2002).

### **3.1.2 Rozdělení srážek podle vzniku**

Podle příčin vzniku můžeme rozlišit tři druhy srážek:

#### **Cyklonální srážky**

Cyklonální srážky vznikají v důsledku styku nízkého tlaku (cyklon) s oblastmi vysokého tlaku (anticyklon). Cyklony a anticyklony zabírají rozsáhlé plochy. Účinkem

zemské rotace a sluneční energie se přemísťují po zemském povrchu. Především ovlivňují počasí velkých oblastí. V důsledku styku cyklon a anticyklon vznikají fronty se vzdušnými proudy z oblastí vysokého tlaku do oblastí nízkého tlaku, kde dochází k ochlazení vlhkého vzduchu, kondenzace a vznikají cyklonální srážky. Cyklonální srážky jsou nejčastějším typem srážek mírného pásma. Vyskytují se během celého roku s tím, že zasahují větší oblasti a to někdy i po delší dobu, kde mohou popřípadě způsobit zvýšení hladiny řek a poté vznikají povodně (Šilar, 1996).

### **Orografické deště**

Vznikají mechanickým účinkem pohoří, která zdvihají proudy vlhkého vzduchu výše, kde nastává rozpínání, ochlazení, kondenzace a vznikají srážky. Srážky spadnou na návětrnou stranu pohoří, zatímco závětrná strana zůstává v dešťovém stínu. Příkladem pohoří s dešťovým stínem jsou Krušné hory (Šilar, 1996).

### **Konvekční, neboli termické srážky**

Vznikají z vlhkého vzduchu, který vystupuje zahřátý od zemského povrchu. S výstupem se vzduch rozpíná, ochlazuje a vodní pára z něho kondenzuje jako srážky. Vznikají prudké deště, spojené s bouřkami. V mírném pásmu také vznikají letní bouřky, v rovníkovém pásmu pravidelné odpolední a večerní bouřky (Šilar, 1996).

Množství srážek a jejich rozdělení během roku značně závisí na zeměpisné poloze. Mění se se zeměpisnou šířkou. Vysokými srážkami se vyznačují zejména tropické oblasti, avšak jsou ovlivněny polohou a směrem (Šilar, 1996).

Charakter srážek podle vzniku a rozdělení během roku má také vliv na rozdělení povrchového i podzemního odtoku. Na území České republiky, která leží převážně v oblasti mírného humidního (klimatického vlhkého území, kde převažuje množství srážek nad výparem) klimatu, se utváří převážně cyklonální srážky (Šilar, 1996).

### **3.1.3 Rozdělení srážek podle intenzity a podle rozsahu zasaženého území**

Podle intenzity a rozsahu území, na kterém srážky spadly, můžeme rozlišit deště regionální (krajinné) a přivalové (u sněhových srážek se rozdílly neprojevují tak výrazně), (Šilar, 1996).

Regionální deště jsou ve spojitosti s působením meteorologických činitelů, ovlivňujících počasí větších oblastí a zasahují proto obvykle větší území. Vyznačují se poměrně nižší intenzitou a delší dobou trvání. Především ovlivňují povrchový odtok z rozsáhlých území, i odtok podzemních vod. V našich poměrech přesahují hodnotu 80 mm/den (Šilar, 1996).

Přivalové deště jsou plošně omezenější. Mají krátkou dobu trvání, avšak vysokou intenzitu. Jsou často spojeny s bouřkami. Jsou typické pro některé roční období (například letní bouřky) nebo zeměpisné oblasti (např. některé tropické oblasti), (Šilar, 1996).

### **3.1.4 Složení atmosférických srážek**

#### **Hodnota pH**

Hodnota pH má mimořádný význam, protože ovlivňuje většinu fyzikálně chemických, chemických a biochemických procesů probíhajících ve vodách. Proto je stanovení hodnoty pH nezbytnou součástí každého chemického rozboru vody. Umožňuje rozlišit jednotlivé formy výskytu některých prvků ve vodách, je jedním z hledisek pro posuzování agresivity vody a ovlivňuje účinnost většiny chemických, fyzikálně chemických a biologických procesů pro používání při úpravě a čištění vod (Pitter, 2009).

Srážkové vody z neznečišťovaných oblastí mívají hodnotu pH v rozmezí od 5 do 6. Vzhledem k acidifikaci atmosférických vod přítomnost oxidů síry a dusíku byla hodnota pH srážek ve střední Evropě 4 až 5 (Pitter, 2009).

## **Vodivost**

Stanovení vodivosti je běžnou součástí chemického rozboru vod. Umožňuje odhad koncentrace iontově rozpuštěných látek a celkové mineralizace ve vodách. Při analýze čistoty vody je v praxi používána hodnota vodivosti, která vypovídá o množství iontově rozpuštěných látek (Pitter, 2009).

## **Chemická spotřeba kyslíku dichromanovou metodou (CHSK<sub>Cr</sub>)**

Chemická spotřeba kyslíku dichromanovou metodou slouží k vyjádření míry znečištění vod veškerými organickými látkami. Poprvé byl dichroman draselný použit pro stanovení organických látek ve vodě v roce 1926. V roce 1936 Muers navrhl katalyzovat oxidaci síranem stříbrným, čímž se podstatně rozšířil počet organických látek, které se tímto způsobem téměř zcela oxidují (Pitter, 2009).

Princip stanovení CHSK<sub>Cr</sub> spočívá v oxidaci organických látek dichromanem draselným v prostředí 50% kyseliny sírové při teplotě 150°C po dobu 2 hodin za katalytického působení síranu stříbrného. Nezreagovaný dichroman se stanovuje buď titrací síranem diamonno-železnatým na indikátor ferroin, nebo spektrofotometricky (Pitter, 2009).

## **Vápník (Ca<sup>2+</sup>) a hořčík (Mg<sup>2+</sup>)**

Vápník a hořčík jsou v přírodě dosti rozšířené. Zemská kůra obsahuje asi 0,035 % vápníku a 0,020 % hořčíku. Vápník a hořčík se do vody dostávají rozkladem hlinitokřemičitanů vápenatých a hořečnatých, např. anortitu a chloritu (Pitter, 2009).

Antropogenním zdrojem vápníku a hořčíku mohou být některé průmyslové odpadní vody z provozu, ve kterých se kyseliny neutralizují vápnem, vápencem, dolomitem, nebo magnezitem. Vody se obohacují vápníkem a hořčíkem také při odkyselování (odstraňování agresivního oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>) (Pitter, 2009).

V málo mineralizovaných a středně mineralizovaných vodách se vápník a hořčík vyskytují převážně jako jednoduché ionty Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup>. Ve více mineralizovaných vodách

s vyšší koncentrací hydrogenuhličitanů a síranů se mohou ve větším množství tvořit různé iontové asociáty a obdobné s hořčíkem (Pitter, 2009).

### **Sodík ( $\text{Na}^+$ ) a draslík ( $\text{K}^+$ )**

Tyto prvky se v zemské kůře vyskytují přibližně 2,5 %. Do vody se uvolňují při zvětrávání některých hlinitokřemičitanů, např. albitu, ortoklasu a slíd. Ve větším množství se sodík a draslík vyluhují ze solných ložisek např. halit, z minerálů (sylvinu, sylvinitu) a z tzv. odklizových draselných solí (karnalitu a kainitu), které převrstvují ložiska kamenné soli. Dalším přírodním zdrojem sodíku ve vodách může být výměna iontu vápníku za sodík při styku vody s některými jílovitými minerály (Pitter, 2009).

Antropogenním zdrojem sodíku jsou odpadní vody z výrob, které obsahují chloridy, nebo sírany vznikající při neutralizacích, nebo vysolování. Dalším zdrojem jsou odpadní vody z výroby draselných a sodných solí, z výroby hnojiv a odpady z regenerace měničů iontů. Část sodíku a draslíku může pocházet i z živočišných výkalů (Pitter, 2009).

Ve vodách se sodík a draslík vyskytují převážně jako jednoduché kationy  $\text{Na}^+$  a  $\text{K}^+$  (Pitter, 2009).

### **Železo (Fe)**

Nejrozšířenější železné rudy jsou pyrit, magnetovec, limonit a siderit. Železo je v malém množství obsaženo také v řadě přírodních hlinitokřemičitanů. Mimořádně vysoké koncentrace železa lze najít v kyselých důlních vodách obsahujících kyselinu sírovou, která vzniká oxidací sulfidické rudy pyritu (Pitter, 2009).

Antropogenním zdrojem železa v přírodních a užitkových vodách mohou být některé průmyslové odpadní vody (např. drátoven, válcoven, aj.) a korozní procesy ve vodním potrubí. Železo je hlavním kovem tvořícím součást dnových sedimentů (Pitter, 2009).

Formy výskytu rozpuštěného a nerozpuštěného železa ve vodách závisejí na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu a komplexotvorných látkách přítomných ve

vodě. Železo se vyskytuje ve vodách v oxidačním stupni II nebo III. V bezkyslíkatém (anoxickém) redukčním prostředí podzemních vod a v povrchových vodách u dna nádrží a jezer se vyskytuje železo v oxidačním stupni II. Ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík je železo v oxidačním stupni II nejstabilnější formou výskytu. V atmosférických vodách jsou koncentrace železa velmi nízké (Pitter, 2009).

### **Chloridy ( $\text{Cl}^-$ )**

Základní druhy hornin a půd obsahují průměrně 10 mg až 50 mg chloridů v 1 kg. Jejich zvětváváním a vyluhováním přecházejí chloridy do vody. Významným zdrojem v atmosférických vodách z přímořských oblastí může být mořská voda, jejíž kapky jsou strhávány větrem do ovzduší (Pitter, 2009).

V zimním období se může na jednom automobilu zachytit i přes 100 g chloridu sodného. Antropogenním zdrojem sloučenin chloru je také chlorace vody při jejím hygienickém zabezpečování, kdy se používá elementární chlor (Pitter, 2009).

Nejrozšířenější formou sloučenin chloru ve vodách jsou chloridy. Jsou přítomné převážně jako jednoduchý iont  $\text{Cl}^-$ , protože mají slabé komplexační schopnosti (Pitter, 2009).

### **Sírany ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Sírany jsou převážně antropogenního původu ze spalování sirnatých tuhých a kapalných paliv. Z menší části však sírany mohou pocházet také z vulkanických exhalací (Pitter, 2009).

Hlavními minerály jsou sádrovec a anhydrit. Sírany dále vznikají oxidací sulfidických rud, což je příčinou vysokých koncentrací síranů v důlních vodách. Z antropogenních zdrojů je nutné jmenovat zejména odpadní vody z moření kovů, kde se k moření používá kyselina sírová (Pitter, 2009).



### **Dusitany ( $\text{NO}_2^-$ )**

Jako minerály se dusitany nevyskytují. Pokud jsou přítomné ve vodách, vznikají zejména biochemickou oxidací amoniakálního dusíku (nitrifikace), nebo biochemickou redukcí dusičnanů. Zvýšená koncentrace dusitanů se může vyskytovat ve vodách s intenzivním chovem ryb (Pitter, 2009).

Dusitany v atmosférických vodách jsou anorganického původu. Dusitany mohou vznikat také redukcí dusičnanů při dezinfekci vody UV-zářením. Dalším zdrojem dusitanů je kovoprůmysl (Pitter, 2009).

Dusitany jsou ve vodách nestálé, mohou být snadno biochemicky i chemicky oxidovány, nebo redukovány. Velmi snadná je biochemická oxidace (nitrifikace) probíhající ve vodách v oxických podmínkách. Na druhé straně přichází v anoxických podmínkách v úvahu biologická denitrifikace na elementární dusík. Proto lze dusitany v nízkých koncentracích často prokázat jako meziprodukt chemických a biochemických transformací dusíku (Pitter, 2009).

### **Dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ )**

V minerálech jsou dusičnany obsaženy jen zřídka. Ve větším množství se v některých mimoevropských lokalitách vyskytuje dusičnan sodný. Dusičnany vznikají hlavně sekundárně při nitrifikaci amoniakálního dusíku a jsou konečným stupněm rozkladu dusíkatých organických látek v oxickém prostředí. Dalším zdrojem je hnojení zemědělsky obhospodařované půdy dusíkatými hnojivy. Antropogenního původu jsou dusičnany v atmosférických vodách, které jsou příčinou zvyšujících se koncentrací dusičnanů v povrchových vodách (Pitter, 2009).

### **Amonný kation ( $\text{NH}_4^+$ )**

Jako minerály se jednoduché amonné soli v přírodě nevyskytují a nejsou proto ve vodách přírodního původu. Amoniakální dusík je primárním produktem rozkladu většiny organických dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Proto antropogenním

zdrojem amoniakálního dusíku organického původu jsou především splaškové odpadní vody, vody ze zemědělských výrob a kalová voda. Nezanedbatelným zdrojem amoniakálního dusíku ve vodách mohou být i emise amoniaku v okolí závodu živočišné velkovýroby (Pitter, 2009).

Do atmosférických vod se amoniakální dusík dostává z průmyslových exhalací. Předpokládá se, že amonné sloučeniny mohou vznikat sekundárně ve větších hloubkách v podzemních vodách, a to s chemickou redukcí dusičnanů, při styku vody s minerály obsahujícím  $\text{Fe}^{\text{II}}$  a  $\text{Mn}^{\text{II}}$ . Amonné sloučeniny se někdy přidávají do vody při jejím hygienickém zabezpečování (Pitter, 2009).

### **Fosforečnany ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup>**

Přírodním zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých půd, minerálů a zvětralých hornin. Antropogenním zdrojem mohou být některé prací, čisticí, odmašťovací a mycí prostředky. Dalším zdrojem jsou fosforečná hnojiva. Ve vodách se fosfor dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný (Pitter, 2009).

### **Rozpuštěné látky (R.L. 105 °C)**

Rozpuštěné látky stanovené po odpaření vody vysušení odparku patří mezi základní ukazatele jakosti vody (přírodních, užitkových i odpadních). Tento ukazatel je definován metodou stanovení a zahrnuje jak rozpuštěné látky anorganické, tak i netěkavé organické látky. Stanovení rozpuštěných látek má při hodnocení chemických a biologických vlastností vody nejenom význam hydrochemický a hygienický, ale také význam legislativní, zejména při výpočtu poplatků za vypouštění odpadních vod. Z fyzikálně chemického hlediska se za skutečné rozpuštěné látky, které jsou přítomné v pravých roztocích, považují takové ionty nebo molekuly, jejichž rozměr se pohybuje až v jednotkách nanometru (nm). Filtrace vzorku vody filtry s velikostí pórů v jednotkách nanometru je časově velmi náročná. Proto byla v hydrochemii obecně přijata dohoda, že za tzv. „rozpuštěné látky“ se budou považovat látky, které projdou filtrem se střední velikostí pórů 0,45  $\mu\text{m}$  (Český normalizační institut, 2002).

Rozpuštěné látky se stanovují odpařením známého objemu přefiltrované vody, vysušením při 105 °C do konstantní hodnoty. U odparku se zjišťuje zbytek po žihání při 550 °, ztráta žiháním – rozdíl hmotnostní sušeného a žihaného odparku (Pitter, 1999).

### **Nerozpuštěné látky (N.L.)**

Pod pojmem nerozpuštěné látky rozumíme tuhé látky, odstranitelné filtrací, nebo odstředěním za určitých podmínek. Nerozpuštěné látky jsou širším pojmem, protože zahrnují i látky koloidně dispergované. Diferenciace závidí na velikosti pórů použitého filtru. Obvykle se uvádí velikost částic 0,5 µm, ale někdy také 1 µm (Český normalizační institut, 2005).

Látky pevné nebo koloidně suspendované se zachytí na filtru, který sušíme a následně žiháme při 550 ° do konstantní hmotnosti (Pitter, 1999).

## **3.2 Suchá depozice**

Suchá depozice vzniká pomocí usazování tuhých částic a absorpcí plynných složek vegetací a dalšími objekty na zemském povrchu. Suchá depozice je pomalejším procesem, při kterém dochází k transportu pevných látek. Během tohoto procesu se celkový spad dostává až k zemskému povrchu jinak než ve vodních srážkách v mokré depozici. Na rozdíl od mokré depozice, suchá depozice probíhá neustále (Vysoudil, 2002).

## **3.3 Systém sledování atmosférické depozice v České republice**

Složení atmosférické depozice, chemické složení atmosférických srážek a jejich množství je dlouhodobě sledováno na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu, který je nejznámějším v České republice. Mezi další organizace sledující kvalitu ovzduší a atmosférickou depozici na vlastních monitorovacích sítích například: výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM), česká geologická služba (ČGS), hydrometeorologický ústav (HBÚ AV ČR), atd. Dále se také v souladu s mezinárodní

metodikou zabývá monitoringem znečištění ovzduší Program spolupráce při monitorování a vyhodnocování dálkového přenosu látek znečišťujících ovzduší v Evropě (EMEP). V roce 1996 většina stanic přešla z měsíčního intervalu na týdenní odběr vzorků čistých srážek. Od roku 1997-2010 byly uskutečňovány odběry srážek týdenního typu „bulk“ (jsou to kumulované vzorky za delší časový interval týden nebo měsíc, patří sem srážky s prašným spadem). Následně od roku 2011 se uskutečňují analýzy těžkých kovů a ostatních hydrochemických parametrů na stanicích ČHMÚ z čistých srážek. Týdenní odběry typu „bulk“ (mokré) proto byly zrušeny. Na jiných jednotlivých lokalitách organizace nadále měří v měsíčních nebo v nepravidelných intervalech koncentrace těžkých kovů ve srážkách typu „bulk“ na volné ploše (Český hydrometeorologický ústav [online], 2013).

Srážkové úhrny mají vliv na velikost depozice v jednotlivých letech. V roce 2013 byly srážky mírně nad dlouhodobým normálem. V průměru na území České republiky spadlo 727 mm srážek, což je 108 % dlouhodobého normálu. V Moravskoslezském kraji spadlo 771 mm, což je 94 % normálu. V roce 2014 bylo na území České republiky mírně pod dlouhodobým normálem, kde spadlo 657 mm, což představuje 97 % normálu. V Moravskoslezském kraji spadlo 814 mm, což představuje 100 % normálu. V roce 2015 na území České republiky spadlo 532 mm, což představuje 79 % normálu. V moravskoslezském kraji spadlo 558 mm, což představuje 68 % normálu (Český hydrometeorologický ústav [online], 2013).

### **3.4 Měření atmosférické depozice**

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.1, při měření atmosférické depozice rozlišujeme dva druhy srážek a to vertikální kapalně, což je déšť a vertikální pevně což je sníh (Vysoudil, 2006).

## **Vertikální kapalně srážky**

Měření atmosférických srážek je velmi složité pro jejich značnou časoprostorovou variabilitu. Pro zjištění jejich přesného, časoprostorového rozložení by musel být umístěn jeden srážkoměr na ploše  $1\text{ km}^2$ , což je z praktického hlediska nemožné (Vysoudil, 2006).

Množství srážek se měří pomocí srážkoměrů na meteorologických stanicích, které se mohou také používat i pro měření vodní hodnoty tuhých srážek, hlavně sněhu. Srážkoměr se skládá z velké srážkoměrné nádoby, nálevky a skleněné kalibrované odměrky. Pomocí samopisného přístroje, ombrografu, lze registrovat časový průběh srážek. Totalizátor slouží k měření srážek za delší období, zejména na nepřístupných místech (například v horském terénu), (Vysoudil, 2006).

## **Pevné srážky sněhové**

Na klimatologických stanicích se měří výška nového sněhu, který napadl od sedmé hodiny ranní předešlého dne do sedmé hodiny ranní dne měření. Dále se měří celková výška sněhové pokrývky (starý a nový sníh dohromady) a vodní hodnota celkové sněhové pokrývky (Vysoudil, 2006).

Výška nově napadlého sněhu se určuje sněhoměrným prkénkem. Celková výška sněhové pokrývky se měří sněhovou latí s přesností 1 cm. Pro určení vodní hodnoty sněhu se určuje váhovým sněhoměrem. Drosometr neboli rosoměr měří výskyt a množství rosy. Rosu řadíme mezi kapalně usazené srážky (Vysoudil, 2006).

## **3.5 Metody odběru vzorků**

### **Odběr vzorků horizontálně**

Odebírání vzorků horizontálním způsobem je prováděno mlhoměry, které jsou buď aktivní, nebo pasivní. Aktivní mlhoměry jsou určeny k odběru depozice a uvádějí se do činnosti, jestliže nastane snížená viditelnost. Tento úkaz se dá popsat jako mlha. Poté se aktivuje nabírání vzduchu do tunelu, ve kterém dojde k hromadění vodních kapek na

teflonové filtry. Vodní kapky stékají do nádoby, která je určena pro odběr vzorků. Všechny díly tohoto zařízení, jsou v přímém kontaktu s kapkami mlhy. Tyto díly jsou vyrobeny z teflonu, který je voděodolný, nebo z polyetylenu, který je odolný vůči chemickým látkám (Gryniewicz et al., 2002).

Pasivní mlhoměry jsou určené k odběru mokré depozice a jsou oproti aktivnímu mlhoměru jednodušší. Zařízení jsou opatřena talířem, na kterém jsou umístěny teflonové struny pro zadržení kapek vody, které jsou obsaženy v mlze. Avšak během tohoto odběru může dojít ke kontaminaci, jelikož daný přístroj je vystaven nepřetržitému působení a dochází k sedimentaci jistého množství suchého spadu. Z tohoto důvodu je velmi důležité, aby odběrové zařízení bylo zachováno v čistotě (Skarżyńska et al., 2006).

### Odběr vzorků vertikálně

Odběr vertikálních srážek mokré depozice můžeme uskutečnit několika způsoby. Jedním ze způsobů, který se používá je metoda typu „bulk“. Touto metodou se měří celková depozice, protože zařízení je trvale otevřeno, což můžeme vidět na obrázku 9. Kromě srážek mohou být v tomto zařízení shromažďovány částice suché depozice, které se do zařízení ukládají v období beze srážek. Může však nastat, za určitých klimatických podmínek, problém kde dochází ke změně koncentrací zkoumaných látek. Tento problém způsobuje výpar vody z přístroje určeného k odběru (Krupa, 2002).



Obrázek 9 Odběr vzorků metodou "bulk" (Izquierdo, 2012)

Další používanou metodou je takzvaná metoda „wet-only“, která se již tak často nepoužívá, jelikož je finančně náročnější. Dešťová voda je odebírána za pomoci automatického pluviokolektoru. Ten nám umožňuje odebírat vzorky jen v době srážkové události. Pluviokolektor se uvádí do činnosti tehdy, kdy dopadnou na čidlo kapky dešťové vody. Po dopadu dešťové vody se otevře kryt nad nálevkou určenou pro odběr vzorku. Tímto způsobem je odebrán jen vzorek čisté srážky bez částic prachu suché depozice (Izquierdo, 2012). Na obrázku 10 je znázorněný přístroj, pro měření metodou „wet-only“.



Obrázek 10 Odběr vzorků metodou "wet-only" (Izquierdo, 2012)

Poslední způsob je metoda „throughfall“, která umožňuje odběr dešťové vody a zároveň i suchého spadu. Tento postup je založen na odběru vzorků v lesních porostech, který můžete vidět na obrázku 11. Metoda je používána za předpokladu, že velký podíl suchého spadu se zachytí v korunách stromů. V době srážkové události je vymýván a dále obohacuje vzorek dešťové vody. Ve volné krajině v nezalesněném terénu jsou tedy konečné koncentrace látek ve vzorku nižší než v zalesněné krajině.



Obrázek 11 Metoda odběru vzorků "throughfall" (Chuman, 2012)

### 3.6 Vývoj složení atmosférické depozice

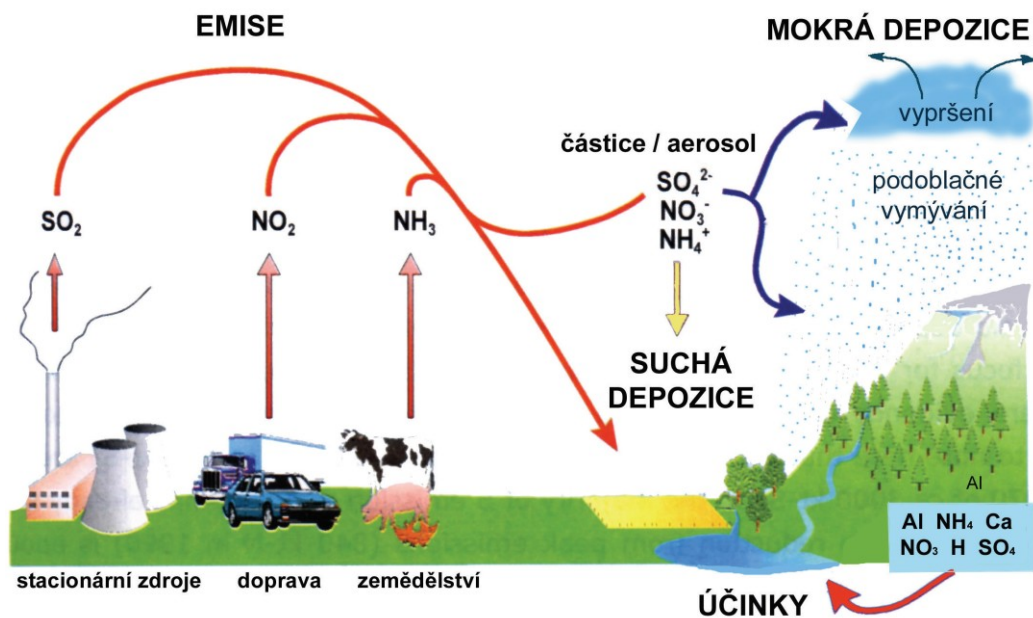
Nejznámější celosvětový výzkum je zkoumání srážek v atmosféře. Především bylo uskutečněno mnoho studií o chemickém složení srážek a jejich dlouhodobém působení v atmosféře. Pozorované srážky byly sledovány zejména kvůli chemismu za účelem monitorování kyselé atmosférické depozice. Pozorování srážek je důležité, jelikož tyto srážky mohou narušit ekosystém, biochemické cykly a také kvůli působení srážek na celosvětové změny klimatu.

Počátek znečišťování ovzduší souvisí především rozvojem těžkého průmyslu v 18. a 19. století nastala, kdy velká změna. Viditelně se zvýšila spotřeba energie. Prudký nárůst znečišťujících látek byl nejdříve zpozorován a monitorován ve Velké Británii a v rozvinutějších evropských zemích. V minulých letech se znečišťující látky do atmosféry dostávaly zejména spalováním dřeva. Z velké části území Evropy byly tyto znečišťující látky poměrně zanedbatelné a v ostatních zemích Evropy došlo k nárůstu znečišťujících látek až o několik desítek let později (Hruška a Kopáček, 2005).

Kyselé atmosférické depozice je celek procesů, který je znázorněn na obrázku 12, při kterých jsou z atmosféry odstraňovány kyselé složky vznikající jako produkt řady reakcí v atmosféře, která působí jako silné oxidační médium (Zapletal, 2014). Kyselé



atmosférická depozice je považována za jeden z hlavních problémů z hlediska kvality životního prostředí (Draaijers et al., 1997).



Obrázek 12 Vztah mezi procesy, emise, přenosu, depozice a účinku acidifikačních látek (Zapletal, 2014)

#### 4 Metodika odběru a analýzy vzorků

Odběr a rozbor vzorků mokrého spadu podává přesnou informaci o kvalitě životního prostředí. Tyto informace nám mohou pomoci pro zajištění příslušných opatření ke snížení množství škodlivin v atmosféře (Morselli et al., 2010).

Atmosférické srážky jsou charakteristické pro dané prostředí. V prostředí musejí být odběrové lokality příhodně umístěny, protože při nízkém úhrnu srážek je důležité zachytit dostatečné množství vzorku k analýze. Při intenzivním úhrnu srážek je nutno zamezit, aby došlo k možným ztrátám vzorků, například přetečením odběrové nádoby. Z tohoto důvodu by měla mít nádoba dostatečně velký objem a měla by také splňovat další podmínky, například odolnost materiálu vůči hmotnosti vody, nebo námrazám (Krupa, 2002).

Odběry vzorků dešťové vody byly provedeny v podzimním a zimním období v měsíčních intervalech. Odběr probíhal v říjnu (19. 10. 2015), v listopadu (18. 11. 2015), v prosinci (31. 12. 2015), v lednu (27. 1. 2016) a v únoru (27. 2. 2016). Vzorky byly odebírány na území okresu Opava ze čtyř odběrových lokalit, které jsme si záměrně vybrali. Celkem bylo odebráno 19 vzorků. V průběhu vzorkování nebyl odebraný jeden vzorek v měsíci říjen (19. 10. 2015) v lokalitě číslo 3 (Dolní Benešov). Důvodem byl malý úhrn srážek. Pro analytické stanovení sledovaných parametrů jsme potřebovali minimálně 0,5 l dešťové vody a to se nám bohužel nepodařilo odebrat. Odběr vzorků probíhal vždy v rámci jedné srážkové události.

Jelikož škola nevlastní žádné přístroje pro měření mokré depozice, které bych si mohla zapůjčit, vyrobila jsem si své vlastní zařízení pro odběr dešťové vody. Vzorky byly odebírány do plastových vzorkovnic o objemu 5 l, na obrázku 13 můžeme vzorkovnice vidět, které byly umístěny 1,5 m nad zemí. Plastové vzorkovnice jsem zavěsila na vyrobené stojany ve tvaru plotu vždy hned na počátku každé dešťové události. Následně byly vzorkovnice pravidelně sledovány, aby nedošlo k přetečení a v případě dosažení potřebného množství vzorku ze stojanu odebrány. Po přelití do plastové vzorkovnice o objemu 1,5 l jsem vzorky uchovala v lednici a co nejdříve jsem je odvezla do laboratoří, kde byly analyzovány.



Obrázek 13 Odběrová nádoba a vzorkovnice (Chříbková. 2016)

### Analytické metody stanovení

Veškeré odebrané vzorky dešťových vod byly analyzovány v analytických laboratořích IGI VŠB-TU Ostrava, která má osvědčení CSlab Č.j.: PT/CHA/4/2012 (PT31). Stanovovány byly základní hydrochemické ukazatele: RL 105°C, NL, CHSK<sub>Cr</sub>, vodivost, pH, (Cl)<sup>-</sup>, (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sup>+</sup>, (NO<sub>2</sub>)<sup>-</sup>, (NO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>, (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> a Fe. Analýzy vzorků byly provedeny dle následujících norem a komerčně dostupných metod:

ČSN ISO 10523 Jakost vod - Stanovení pH

ČSN EN 27888 Jakost vod. Stanovení elektrické konduktivity (ISO 7888:1985)

ČSN 75 7346 Jakost vod – Stanovení rozpuštěných látek

ČSN EN 872 Jakost vod - Stanovení nerozpuštěných látek - Metoda filtrace filtrem ze skleněných vláken

ČSN EN ISO 10304-1 Jakost vod - Stanovení rozpuštěných aniontů metodou kapalinové chromatografie iontů - Část 1: Stanovení bromidů, chloridů, fluoridů, dusičnanů, dusitanů, fosforečnanů a síranů

ČSN ISO 7150-1 - Jakost vod. Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrometrická metoda

ČSN ISO 15705 Jakost vod - Stanovení chemické spotřeby kyslíku ( $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ) - Metoda ve zkumavkách

ČSN ISO 6059 Jakost vod. Stanovení sumy vápníku a hořčíku. Odměrná metoda s EDTA

ČSN ISO 6058 Jakost vod. Stanovení vápníku. Odměrná metoda s EDTA

Stanovení koncentrace sodíku iontově selektivní elektrodou (ISE) na automatickém analyzátoru LAQUAtwin firmy Horiba

Stanovení koncentrace draslíku iontově selektivní elektrodou (ISE) na automatickém analyzátoru LAQUAtwin firmy Horiba

Stanovení železa kyvetovým testem HACH

## 5 Vyhodnocení chemického složení (kvality) mokré depozice

V laboratořích IGI HGF bylo ve vzorcích dešťové vody stanoveno celkem šestnáct hydrochemických parametrů. Veškeré analytické výsledky byly přehledně seřazeny a následně statisticky zpracovány v tabulkovém procesoru MS Excel. Analytické výsledky jsou uvedeny v tabulce 3, kde jsou odběry jednotlivě rozděleny podle data.

### Odběrová lokalita číslo 1 - Závada

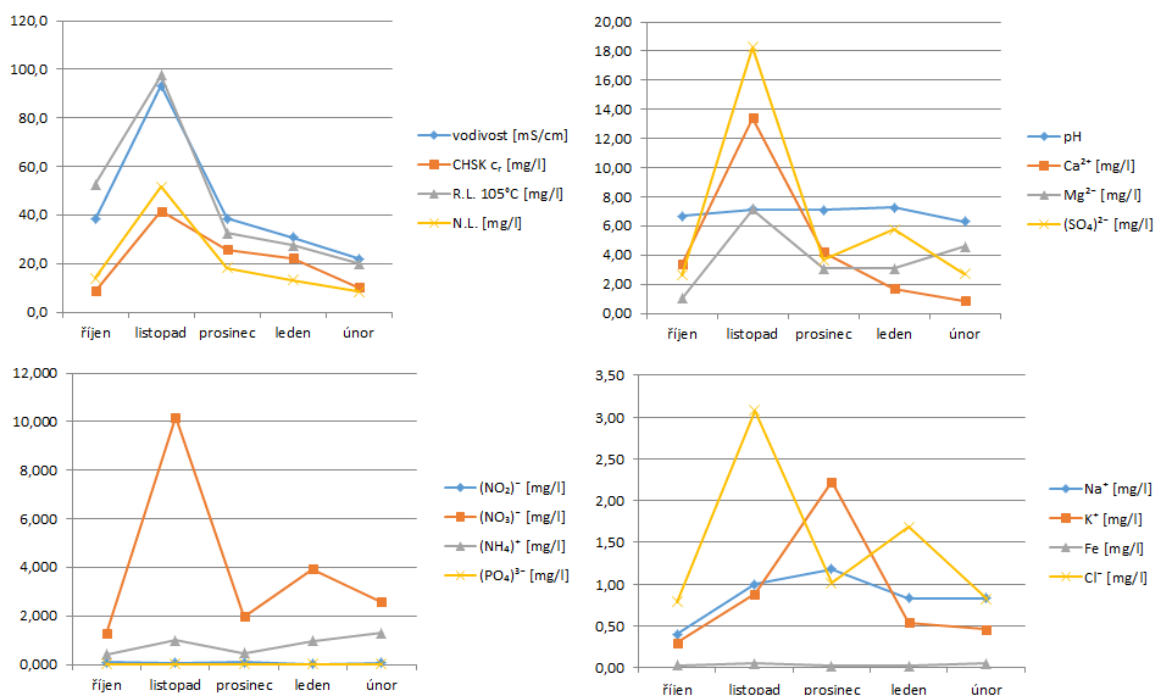
V lokalitě Závada se hodnota pH pohybovala v rozmezí 6,30 až 7,24 s průměrnou hodnotou pH 6,9, což znamená, že daná oblast nebyla postižena kyselými dešti. Pitter (2009) a LV et al. (2014) uvádí jako mezní hodnotu pro kyselé srážky pH 5,6. Vodivost se pohybovala v rozmezí 22,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  až 38,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ale v listopadu vodivost stoupla až na 93,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Z průběhu vývoje sledovaných parametrů uvedených na obrázku 14 je v měsíci listopadu taktéž patrný výrazný nárůst koncentrací rozpuštěných a nerozpuštěných látek, dusičnanů, chloridů, síranů, vápníku, hořčíku a hodnot chemické spotřeby kyslíku a vodivosti. Příčinou bylo významné zatížení ovzduší prachovými částicemi  $\text{PM}_{10}$ , jejichž imisní limit byl v listopadu překročen 6 krát (měřeno ČHMÚ v Ostravě-Porubě). V tomto období byla dále 2 krát vyhlášena smogová situace pro aglomerace Ostrava, Karviná a Frýdek-Místek. Koncentrace sodíku se pohybovaly v rozmezí 0,40 mg/l až 1,18 mg/l, draslík v rozmezí 0,30 mg/l až 2,23 mg/l a železo v rozmezí 0,02 mg/l až 0,05 mg/l. Dusitany se vyskytovaly v rozmezí 0,005 mg/l až 0,086 mg/l, amonný kation byl naměřený v hodnotě 0,412 mg/l až 1,283 mg/l, fosforečnany v lokalitě byly naměřeny v minimálním množství 0,001 mg/l až 0,017 mg/l. Tyto sledované parametry vykazovaly mezi všemi odběry velmi nízkou variabilitu.

Soňa Chříbková: Monitoring mokré depozice na území okresu Opava

Tabulka 3 Celkové hodnoty z odběrových lokalit

Odběr 19. 10. 2015	vzorek	pH	vodivost	CHSK <sub>Cr</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe	Cl	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2</sup>	(NO <sub>2</sub> )	(NO <sub>3</sub> )	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	N.L.
			μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	1	6,68	38,2	8,69	3,36	1,02	0,40	0,30	0,03	0,79	2,61	0,086	1,267	0,412	0,001	14,0
	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	3	6,81	24,4	15,60	4,20	3,57	0,40	0,20	0,02	1,01	2,92	0,188	1,137	0,749	0,051	14,0
	4	6,60	21,0	21,50	1,68	2,55	0,40	0,20	0,04	0,49	2,97	0,110	1,452	1,365	0,001	18,0
Odběr 18. 11. 2015	vzorek	pH	vodivost	CHSK <sub>Cr</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe	Cl	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2</sup>	(NO <sub>2</sub> )	(NO <sub>3</sub> )	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	N.L.
			μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	1	7,15	93,2	41,50	13,43	7,13	1,00	0,88	0,05	3,08	18,24	0,063	10,187	0,986	0,001	51,6
	2	7,03	32,1	42,60	0,60	2,04	4,00	0,56	0,10	2,89	3,79	0,021	1,309	0,687	0,001	21,6
	3	6,81	42,0	20,70	5,88	6,62	0,87	1,05	0,03	0,90	2,21	0,044	1,499	0,354	0,138	33,3
	4	7,20	990,0	78,70	150,24	28,01	37,39	11,58	0,83	67,88	148,09	0,163	0,779	0,025	0,393	26,6
Odběr 31. 12. 2015	vzorek	pH	vodivost	CHSK <sub>Cr</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe	Cl	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2</sup>	(NO <sub>2</sub> )	(NO <sub>3</sub> )	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	N.L.
			μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	1	7,11	38,6	25,70	4,20	3,06	1,18	2,22	0,02	1,01	3,65	0,078	1,964	0,463	0,007	18,3
	2	6,91	38,4	44,00	5,04	2,55	2,35	1,11	0,10	1,56	2,79	0,085	0,912	0,845	0,018	23,3
	3	6,74	45,4	35,00	7,56	1,53	1,18	1,11	0,04	1,19	5,37	0,051	3,422	0,396	0,011	50,0
	4	6,75	32,7	8,68	5,88	1,53	0,40	0,20	0,01	0,70	2,52	0,087	1,824	0,307	0,004	13,3
Odběr 27. 1. 2016	vzorek	pH	vodivost	CHSK <sub>Cr</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe	Cl	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2</sup>	(NO <sub>2</sub> )	(NO <sub>3</sub> )	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	N.L.
			μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	1	7,24	30,7	22,10	1,68	3,06	0,83	0,54	0,02	1,68	5,76	0,005	3,924	0,958	0,017	13,3
	2	7,08	36,9	23,30	2,52	3,06	2,50	0,54	0,04	4,01	7,42	0,059	2,198	1,159	0,022	8,3
	3	7,01	34,0	42,00	4,20	3,57	0,83	1,11	0,04	2,09	4,99	0,070	2,291	1,337	0,346	100,0
	4	6,91	134,6	22,00	9,23	5,09	3,33	7,78	0,03	10,96	23,60	0,429	14,855	2,100	0,039	3,3
Odběr 29. 2. 2016	vzorek	pH	vodivost	CHSK <sub>Cr</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe	Cl	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2</sup>	(NO <sub>2</sub> )	(NO <sub>3</sub> )	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	N.L.
			μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	1	6,30	22,0	10,20	0,84	4,58	0,83	0,46	0,05	0,82	2,68	0,060	2,585	1,283	0,001	8,3
	2	6,35	21,7	7,72	2,52	5,09	0,83	0,46	0,05	0,91	2,61	0,025	2,876	1,208	0,001	5,0
	3	6,37	31,2	23,60	3,36	2,55	0,83	0,91	0,03	1,14	3,24	0,116	2,805	1,130	0,004	5,0
	4	6,40	52,1	28,70	5,04	2,04	4,17	0,91	0,16	6,94	4,99	0,535	2,372	0,767	0,002	13,3

**Obrázek 14 Grafické znázornění hodnot lokality č. 1 (Chříbková, 2016)**



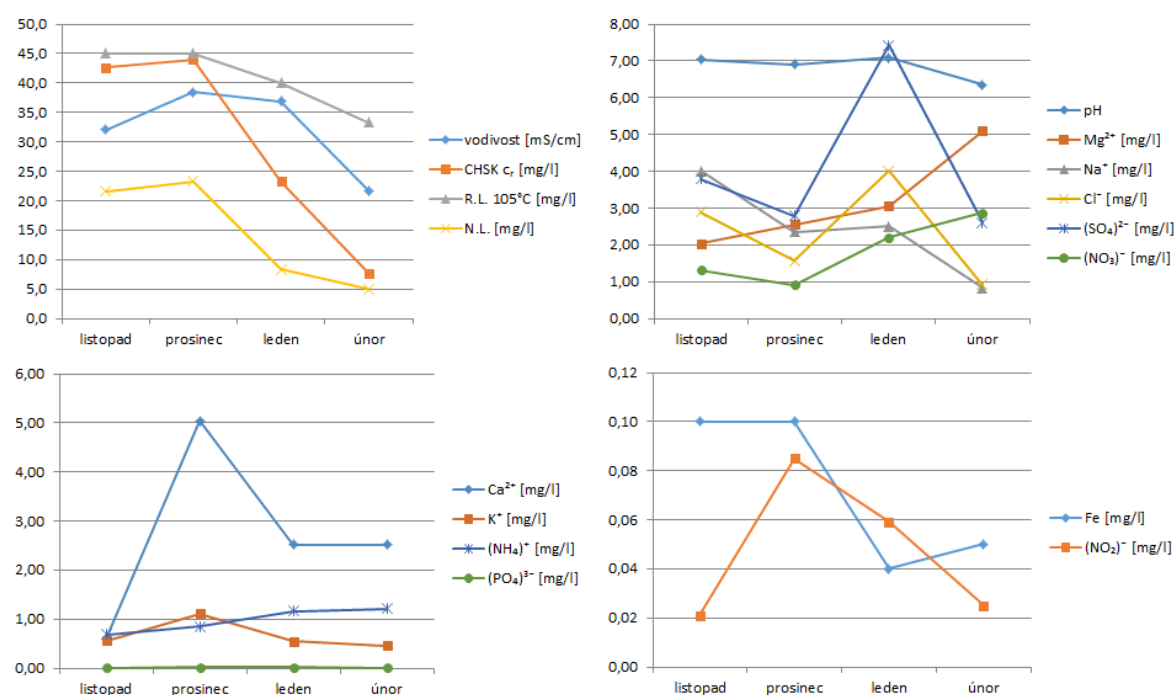
Jak můžeme vidět na obrázku 14 rozdělila jsem hodnoty na 4 části, které jsou znázorněny v grafické podobě, aby byly zřetelné všechna data. Jak můžeme vidět jsou rozděleny na desítky, v jednotkách, desetínách, setínách a tisícinách. Jak bylo uvedeno výše, největší extrémy a nejvyšší hodnoty byly naměřeny v měsíci listopad, poté už hodnoty většinou klesaly, a nebo se pohybovaly ve stejné rovině.

### **Odběrová lokalita číslo 2 – Dolní Benešov**

V lokalitě číslo 2 máme pouze čtyři odebírané vzorky, jelikož nám jeden chybí. V této lokalitě bylo pH v rozmezí 6,35 až 7,08, průměrná hodnota pH je 6,84, což znamená, že daná oblast nebyla postižena kyselými dešti. Vodivost se pohybovala v rozmezí 21,7 µS/cm až 38,4 µS/cm. Chemická spotřeba kyslíku byla naměřena v rozmezí 7,72 mg/l až 44,00 mg/l. Sodík se vyskytoval v lokalitě v rozmezí 0,60 mg/l až 5,04 mg/l, hořčík v rozmezí 2,04 mg/l až 5,09 mg/l, vápník v rozmezí 0,83 mg/l až 4,00 mg/l, draslík v rozmezí 0,46 mg/l až 1,11 mg/l, železo v rozmezí 0,04 mg/l až 0,10 mg/l a chlor

v rozmezí 0,91 mg/l až 4,01 mg/l. Síraný se v lokalitě číslo 2 vyskytovaly v rozmezí 2,61 mg/l až 7,42 mg/l. Dusitany se vyskytovaly v rozmezí 0,021 mg/l až 0,086 mg/l a dusičnany byly v dané lokalitě obsaženy v rozmezí 0,912 mg/l až 2,876 mg/l. Amonný kation byl naměřený v hodnotě 0,687 mg/l až 1,208 mg/l, fosforečnany v lokalitě byly naměřeny v minimálním množství 0,001 mg/l až 0,022 mg/l. Rozpuštěné látky se pohybovaly v rozmezí 33,3 mg/l až 45,0 mg/l a nerozpuštěné látky byly naměřeny v rozmezí 5,0 mg/l až 23,3 mg/l. V obrázku 15 máme znázorněn celkový průběh odběrů za dané období na lokalitě číslo 2.

**Obrázek 15** Grafické znázornění hodnot lokality č. 2 (Chříbková, 2016)



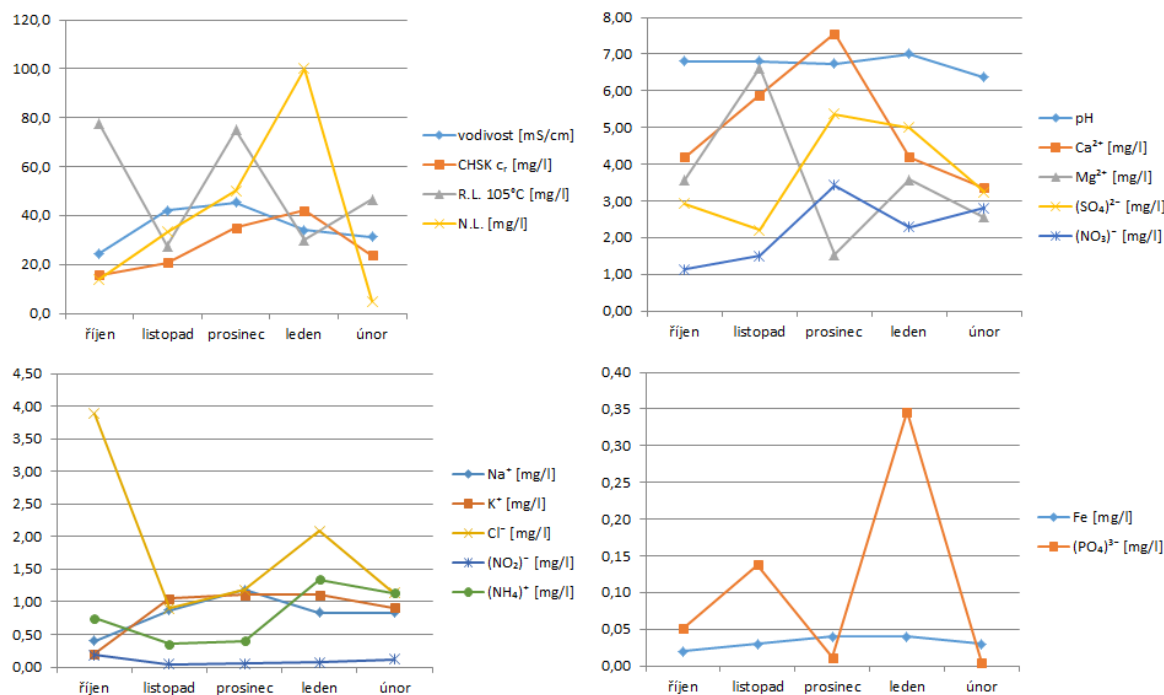
V této lokalitě chyběly data za období měsíce říjen, jelikož se nepodařilo odebrat dostatečný objem srážek pro analýzu. Zde byly v prosincovém odběru naměřeny nejvyšší koncentrace vápníku, železa a dusitanů. Na této lokalitě byly velmi nízké hodnoty fosforečnanů. Z uvedených grafů je od listopadu 2015 do února 2016 patrný postupný mírný pokles koncentrací rozpuštěných a nerozpuštěných látek, chemické spotřeby kyslíku a vodivosti. Ostatní parametry vykazují velmi nízkou proměnlivost v čase.



### Odběrová lokalita číslo 3 – Suché Lazce

V této lokalitě bylo pH v rozmezí 6,37 až 7,01, průměrná hodnota pH je 6,75, což opět potvrzuje, že daná oblast nebyla zatížena kyselými dešti. Vodivost se pohybuje v rozmezí 24,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  až 35,47  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Chemická spotřeba kyslíku dichromanovou metodou byla naměřená v rozmezí 15,60 mg/l až 42,00 mg/l. Sodík se vyskytoval v lokalitě v rozmezí 3,36 mg/l až 7,56 mg/l, hořčík v rozmezí 1,53 mg/l až 6,62 mg/l, vápník v rozmezí 0,40 mg/l až 1,18 mg/l, draslík v rozmezí 0,20 mg/l až 1,11 mg/l, železo v rozmezí 0,02 mg/l až 0,04 mg/l a chloridy v rozmezí 0,90 mg/l až 2,09 mg/l. Sírany se v lokalitě číslo 3 vyskytovaly v rozmezí 2,21 mg/l až 5,37 mg/l. Dusitany se vyskytovaly v rozmezí 0,044 mg/l až 0,188 mg/l a dusičnany byly v dané lokalitě obsaženy v rozmezí 1,137 mg/l až 3,422 mg/l. Amonný kation byl naměřený v hodnotě 0,354 mg/l až 1,337 mg/l, fosforečnany v lokalitě byly naměřeny v rozmezí 0,004 mg/l až 0,346 mg/l. Rozpuštěné látky se pohybovaly v rozmezí 30,0 mg/l až 77,5 mg/l a nerozpuštěné látky byly naměřeny v rozmezí 5,0 mg/l až 100,0 mg/l. V obrázku 16 máme znázorněny čtyři grafy, které znázorňují průběh celkového období.

Obrázek 16 Grafické znázornění hodnot lokality č. 3 (Chříbková, 2016)



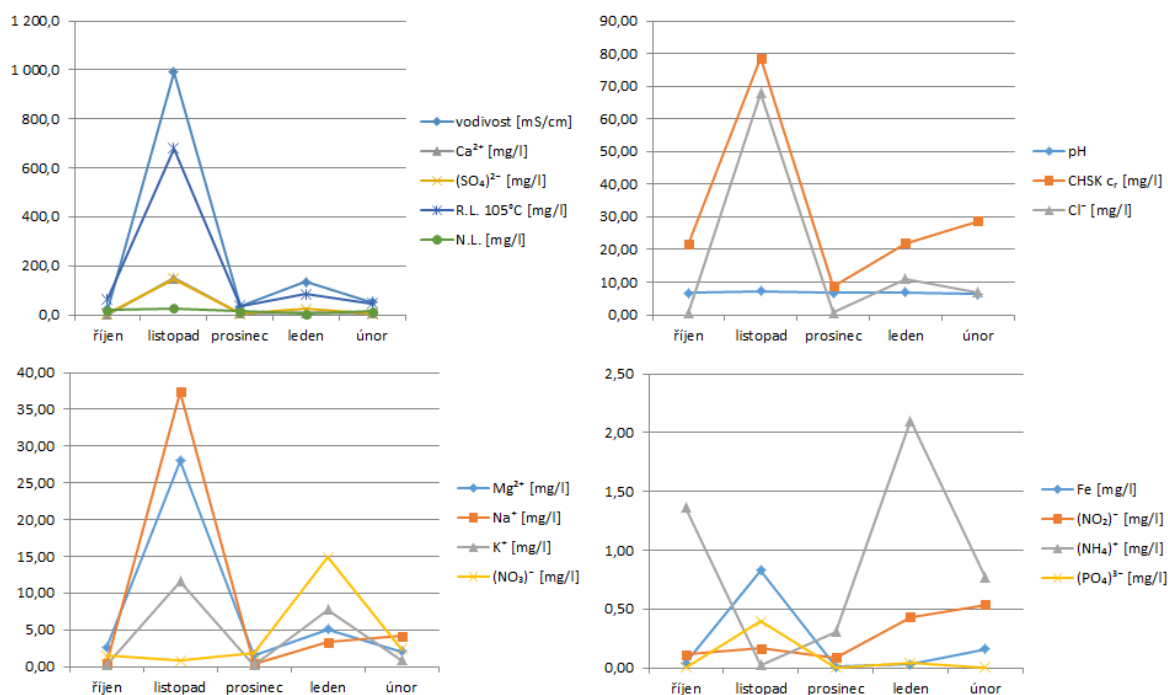
Na sledované lokalitě Suché Lazce byly koncentrace většiny sledovaných parametrů mezi jednotlivými odběry výrazně variabilní. Stabilní vývoj v průběhu celého monitorovacího období je zřejmý především u hodnot pH a vodivosti, a dále u dusitanů a železa, přičemž tyto dosahovaly poměrně nízkých koncentrací.

#### **Odběrová lokalita číslo 4 - Opava**

V této lokalitě bylo pH v rozmezí 6,40 až 7,20 s průměrnou hodnotou 6,77, což stejně jako v předchozích případech prokazuje, že daná oblast nebyla postižena v průběhu sledovaného období kyselými dešti. Vodivost se pohybuje v rozmezí 21,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  až 134,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ale v měsíci listopad vodivost stoupla až na 990,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Chemická spotřeba kyslíku byla naměřená v rozmezí 8,68 mg/l až 78,70 mg/l. Sodík se vyskytoval v lokalitě v rozmezí 1,68 mg/l až 150,24 mg/l, hořčík v rozmezí 1,53 mg/l až 28,01 mg/l, vápník v rozmezí 0,40 mg/l až 37,39 mg/l, draslík v rozmezí 0,20 mg/l až 11,58 mg/l, železo v rozmezí 0,02 mg/l až 0,04 mg/l a chlor v rozmezí 0,49 mg/l až 67,88 mg/l. Sírany se v lokalitě číslo 4 vyskytovaly v rozmezí 2,52 mg/l až 148,09 mg/l. Dusitany se vyskytovaly v rozmezí 0,087 mg/l až 0,535 mg/l a dusičnany byly v dané lokalitě obsaženy v rozmezí 0,779 mg/l až 14,855 mg/l. Amonný kation byl naměřený v hodnotě 0,025 mg/l až 2,100 mg/l, fosforečnany v lokalitě byly naměřeny v rozmezí 0,001 mg/l až 0,393 mg/l. Rozpuštěné látky se pohybovaly v rozmezí 37,5 mg/l až 677,9 mg/l a nerozpuštěné látky byly naměřeny v rozmezí 3,3 mg/l až 26,6 mg/l. Na obrázku 17 máme znázorněny čtyři grafy.

Na této lokalitě byly nejvyšší hodnoty stanoveny ve vzorku v měsíci listopad, avšak nejnižší hodnoty následovaly hned další měsíc, což byl prosinec. Příčinou extrémně vysokých koncentrací v listopadovém odběru byla, stejně jako u lokality Závada, inverzní situace a výrazné zatížení ovzduší antropogenní činností. Dále zde byla stanovena nejvyšší hodnota chemické spotřeby kyslíku, a to 78,70, což je zřejmě způsobeno přítomností rozpuštěných organických sloučenin typu karboxylových kyselin.

**Obrázek 17** Grafické znázornění hodnot lokality č. 4 (Chříbková, 2016)



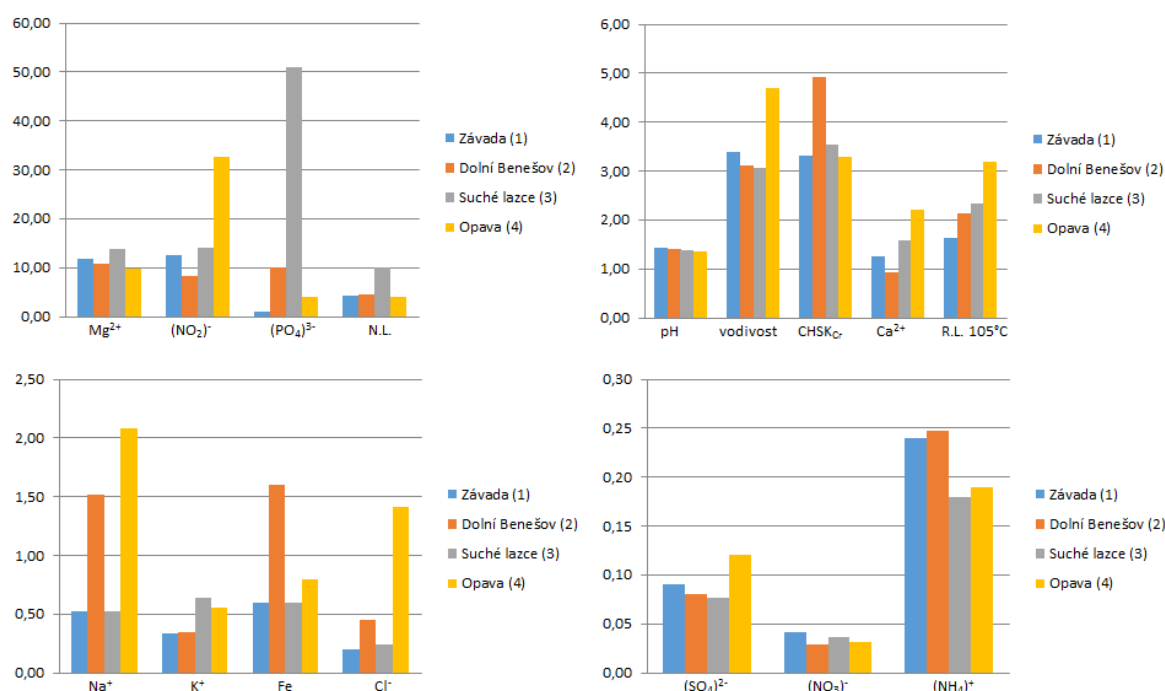
## 5.1 Srovnání jednotlivých lokalit

Pro výpočet míry polohy (střední hodnoty) měřených parametrů na jednotlivých lokalitách byl vzhledem k přítomnosti odlehlých hodnot použit robustní odhad – medián. Použití aritmetického průměru na těchto datech nebylo vhodné, jelikož v případě výskytu odlehlých hodnot, případně extrémů, dochází k výraznému nadhodnocení výsledků. Výsledky jsou znázorněny v grafech na obrázku 18. Za účelem vzájemného srovnání výsledků mokré depozice na lokalitách byl použit faktor nabohacení. Hodnota pozadí byla vypočtena z koncentrací měřených ČHMÚ na lokalitě Bílý Kříž. Tento přístup byl zvolen na základě výsledků monitoringu v námi původně zvolené pozadřové lokalitě Závada. Na této lokalitě bylo identifikováno výrazné antropogenní zatížení, jehož zdrojem je zřejmě spalování fosilních paliv a biomasy v lokálních topeništích. V tabulce 4 jsou hodnoty z lokality Bílý Kříž, které použijeme na všechny naše lokality pro výpočet faktoru nabohacení. Faktor nabohacení se vypočte tak, že výsledné střední hodnoty sledovaných hydrochemických ukazatelů (v našem případě mediány) podělíme pozadřovou hodnotou.

Tabulka 4 Lokalita Bílý Kříž (Český hydrometeorologický ústav [online], 2014)

Lokalita	pH	vodivost	CHSK <sub>Cr</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe
Bílý Kříž		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	4,95	11,1	6,68	2,67	0,26	1,6	1,64	0,05
	Cl <sup>-</sup>	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	(NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>	R.L. 105°C	N.L.
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	4,93	42,77	0,005	61,31	4,06	0,001	20,0	3,3

Obrázek 18 Faktor nabohacení z území okresu Opava (Chříbková, 2016)



Na obrázku 18 můžeme porovnat jednotlivé parametry faktoru nabohacení na území okresu Opava. Na území okresu Opava jsou hodnoty faktoru pro sírany, dusičnany, amonný kation a draslík v rozmezí několika setin. Hodnoty faktoru na jednotlivých lokalitách jsou srovnatelné. Faktor nabohacení u sodíku na lokalitě číslo 1 a 3 je minimální, avšak na lokalitě číslo 2 a 4 je výskyt mírně vyšší. Dále je zde zanedbatelný rozdíl ve faktorech nabohacení mezi lokalitami u chloridů a železa. Hodnota faktoru pro pH je na všech lokalitách téměř stejná. Vodivost by se taky dala říct, že v tomto okrese je víceméně stejná, jen v lokalitě číslo 4 je mírně vyšší, ale zde byl důvod vodivosti způsobený inverzí. Faktor nabohacení u chemické spotřeby kyslíku byl nejvyšší v lokalitě

číslo 2, která byla zatížena především automobilovou dopravou. Vápník se na daných lokalitách vyskytuje různoměrně. Nejméně ho bylo naměřeno na lokalitě číslo 2. Rozpuštěné látky na území okresu Opava jdou vzestupně od lokality 1 až 4. Nejvíce nerozpuštěných látek bylo naměřeno v lokalitě číslo 3 a na zbývajících lokalitách jsou nerozpuštěné látky skoro na stejné úrovni. Hořčík se na území okresu Opava vyskytuje již poměrně více. Nejvíce ho bylo naměřeno v lokalitě číslo 3 a nejméně v lokalitě číslo 4. Dusitanů se na tomto území vyskytují značně více a to především v lokalitě číslo 4, která byla zatížena více zdroji znečištění. Nejvíce je území okres Opava zatížen fosforečnanů, i když minimální skoro až nulový výskyt fosforečnanů byl naměřený na lokalitě číslo 1, avšak na lokalitě číslo 3 byl extrémní nárůst fosforečnanů. Mírně zvýšené fosforečnany byly naměřeny na lokalitě číslo 2, lokalita číslo 4 mají fosforečnany obsaženy v dešťových vodách v mírném množství.

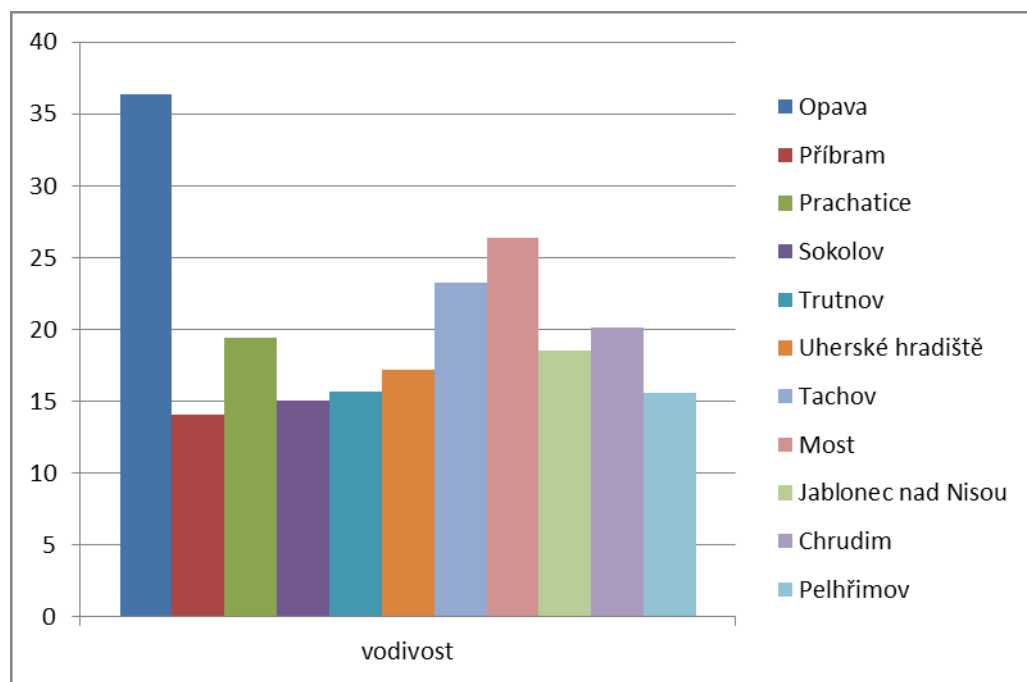
## **5.2 Srovnání s dalšími okresy v ČR**

Pro srovnání výsledků mokré depozice v okresu Opava s ostatními okresy ČR byly použity hodnoty stanovené v čistých srážkách v rámci monitoringu kvality srážek Českým hydrometeorologickým ústavem. Data byla čerpána z tabelárního přehledu za rok 2013 a 2014 z databáze ISKO (Český hydrometeorologický ústav [online], 2014). Jelikož jsou v databázi ISKO hodnoty koncentrací jednotlivých parametrů uváděny pro jednotlivé měsíce v roce, vypočetla jsem si pro srovnání střední hodnoty pro stejné měsíce, ve kterých jsem prováděla odběry srážkových vod (říjen až listopad), za rok 2013 a 2014 opět pomocí mediánu. Výsledné střední hodnoty koncentrací jak pro okres Opava tak pro ostatní okresy jsou uvedeny v tabulce 5.

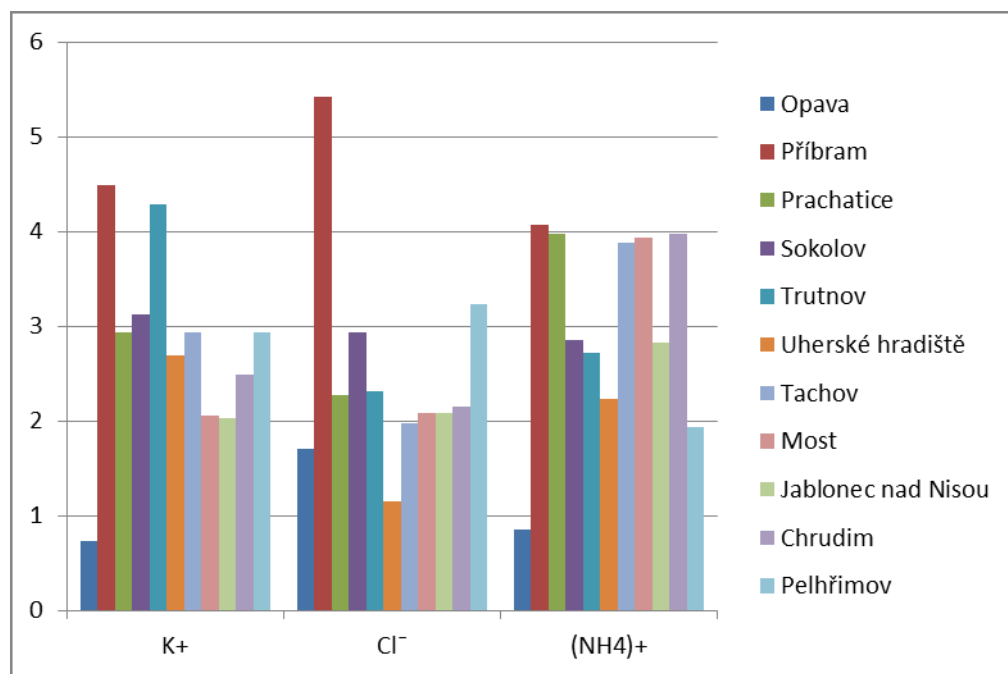
Tabulka 5 Okresy ČR (Český hydrometeorologický ústav 2013/2014)

Okres	pH	Vodivost	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>Opava</b>	6,89	36,35	3,78	2,94	1,63	0,73	1,71	3,47	2,06	0,86
<b>Příbram</b>	4,97	14,10	2,30	0,36	3,80	4,50	5,42	5,09	2,58	4,07
<b>Prachatice</b>	4,63	19,40	3,51	0,61	5,33	2,93	2,27	4,62	2,82	3,97
<b>Sokolov</b>	4,77	15,10	2,20	0,73	2,99	3,13	2,93	1,28	2,41	2,85
<b>Trutnov</b>	5,75	15,70	3,01	0,85	3,25	4,29	2,32	1,37	3,28	2,73
<b>Vsetín</b>	5,05	17,20	3,52	1,03	1,52	2,69	1,15	1,60	2,26	2,23
<b>Tachov</b>	4,76	23,30	2,25	1,39	2,51	2,93	1,98	4,37	3,26	3,88
<b>Most</b>	4,76	26,40	2,90	1,52	2,57	2,06	2,08	2,98	2,74	3,94
<b>Jablonec nad Nisou</b>	5,49	18,50	2,83	0,61	2,90	2,03	2,08	2,80	2,28	2,83
<b>Chrudim</b>	4,86	20,10	2,71	0,98	1,18	2,50	2,16	3,69	2,57	3,98
<b>Pelhřimov</b>	5,11	15,55	2,31	0,79	1,67	2,94	3,23	1,59	1,96	1,93

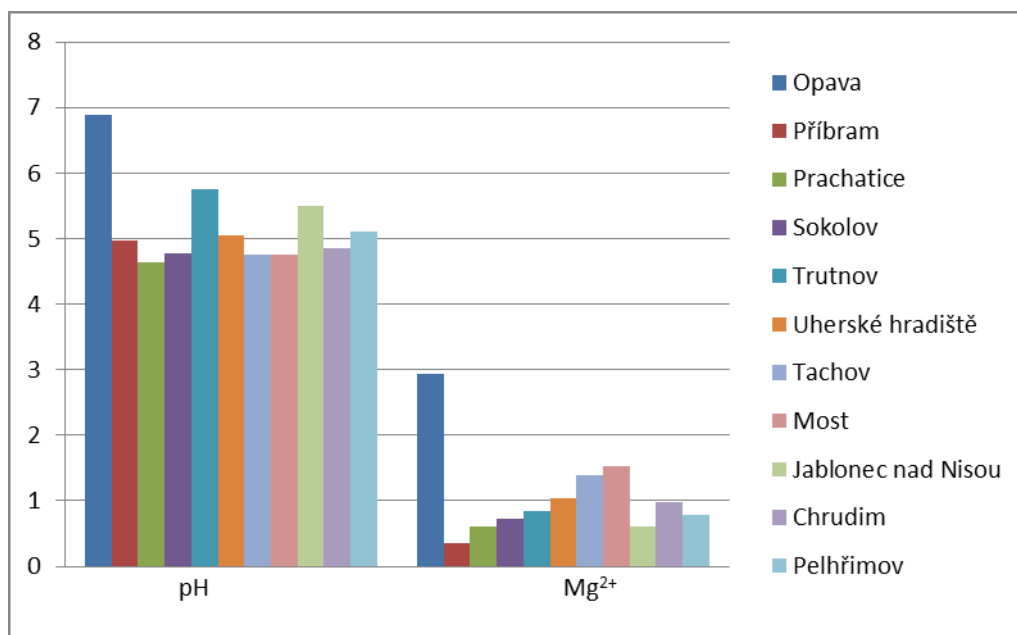
**Graf 1 Vodivost**



**Graf 2 Celkové hodnoty draslíku, chloridu a amonný kation**



**Graf 3 Celkové hodnoty pH a hořčíku**



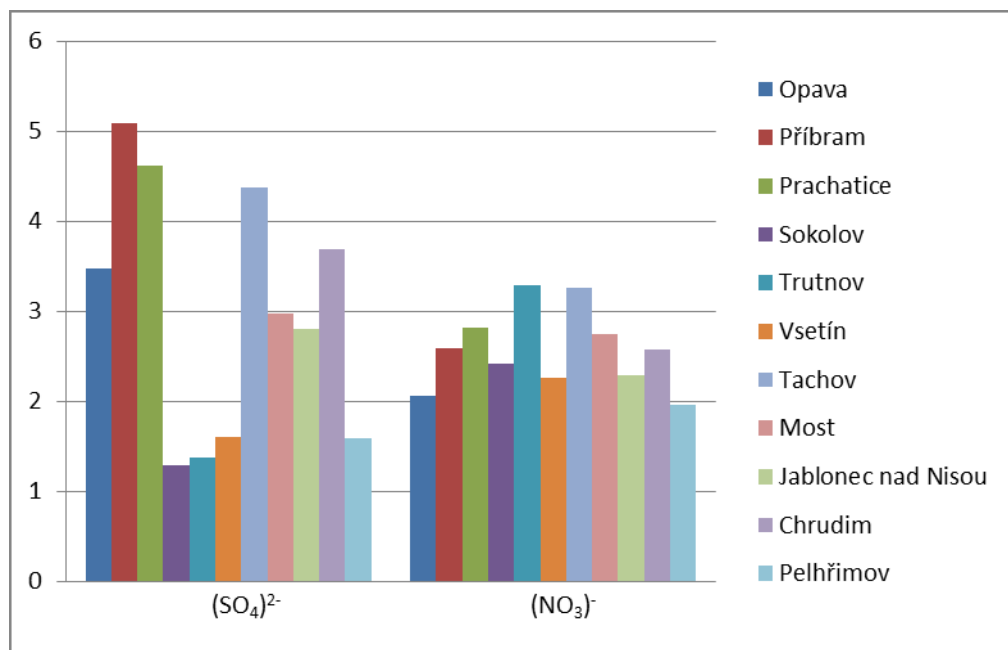
V grafu 1 máme znázorněnou ouze vodivost, jelikož zde byly poměrně značné vyšší hodnoty. Nejvyšší vodivost byla naměřena v okrese Opava, avšak zde nám vysokou vodivost způsobila inverze a vysoká větrnost. Ve zbylých okresech se vodivost pohybovala v mírných odchylkách stejně. Nejnížší naměřená vodivost byla v okrese Příbram.

V grafu 2 máme znázorněny tyto prvky draslík, chloridy a amonny kation. Draslík se ve srážkových vodách vyskytuje přibližně 3,00 mg/l. Nejnížší hodnoty jsou naměřeny v okrese Opava. Chloridy byly nejméně naměřeny v okrese Uherské Hradiště, jejich výskyt byl poměrně minimální. Největší množství chloridů bylo naměřeno v okrese Příbram. Amonny kation byl opět zanedbatelný v okrese Opava, kde hodnoty klesly pod 1,00 mg/l. V ostatních okresech byly tyto hodnoty 2 až 4 krát vyšší.

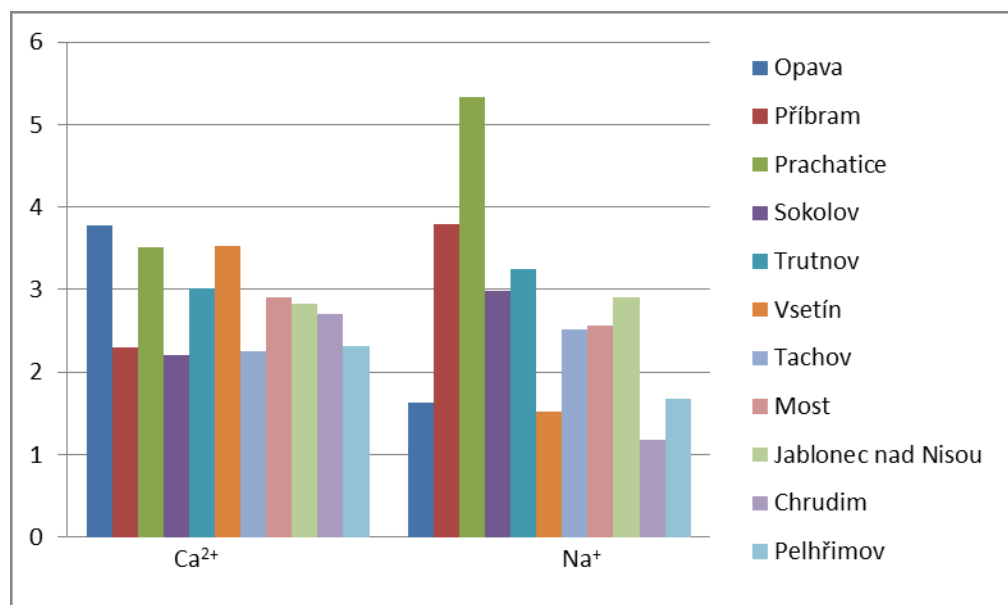
V grafu 3 máme znázorněnou pH vody a hořčík. Nejvyšší avšak neutrální pH bylo naměřeno v okrese Opava. V ostatních okresech se pH vody pohybovalo v rozmezí 4,8 – 5,8 pH, což znamená, že voda byla kyselá. Hořčík se ve srážkách vyskytoval asi nejméně. Nejnížší hodnoty byly naměřeny v okrese Příbram. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v okrese Opava asi 2,5x vyšší než v okrese Příbram. V ostatních okresech se hořčík vyskytoval minimálně.



**Graf 4 Celkové hodnoty síranu a dusičnanu**



**Graf 5 Celkové hodnoty vápníku a sodíku**



V grafu 4 máme znázorněné sírany a dusičnany. Nejnižší hodnoty těchto látek byly naměřeny v okrese Sokolov. V ostatních okresech hodnoty síranu byly asi 3x vyšší než v okrese Sokolov. Dusičnany byly naměřeny ve všech okresech přibližně ve stejných hodnotách. Avšak hodnoty pod 2,00 mg/l byly naměřeny v okrese Pelhřimov.

V grafu 5 máme znázorněny dva prvky a to vápník a sodík. Hodnoty vápníku jsou relativně srovnatelné mezi sebou. Avšak nejvyšší hodnoty byly naměřeny v okrese Opava. A o něco méně v okrese Vsetín a Prachatice. Nejnížší hodnoty sodíku se naměřily v okrese Chrudim. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v okrese Prachatice, kde množství sodíku bylo asi 3x větší.

Když bych měla jednotlivě zhodnotit a porovnat okresy mezi sebou tak nejlépe je na tom okres Uherské Hradiště a Opava, kde hodnoty byly většinou minimální až na pár extrému, které se v odběrech vyskytli. Nejhuře je na tom okres Příbram. Největším problémem v tomto okrese je kyselá atmosférická depozice. Dalším problémem je zde imisní zátěž, která neustále negativně ovlivňuje životní prostředí.

### 5.3 Srovnání se zahraničím

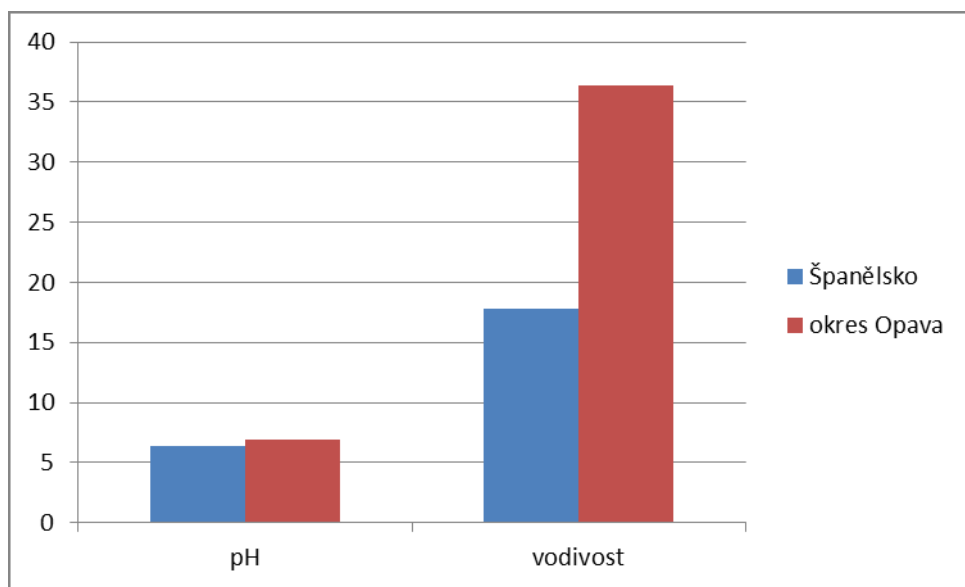
Pro srovnání se zahraničím jsem si vybrala Španělsko – Granada. Jejich studie popisuje odběr zimních srážek z období 2002-2006. Vzorky dešťových vod byly analyzovány na pH a vodivost. Vzorky odebírali metodou „wet-only“. Dále se zaměřili na tyto prvky vápník, sodík, chloridy, hořčík, draslík, sírany, amonný kation a dusičnany (Fernández-Raga a Fraile, 2010). Hodnoty ze Španělska porovnáám s naším sledovaným územím okresem Opava.

Další zahraniční místo pro srovnání jsem si vybrala Japonsko. Zde odebírali vzorky ze tří lokalit z městské, příměstské a venkovské části města. Zde porovnáám pouze dvě hodnoty a to síranů a dusičnanů (Aikawa a Kajino, 2015). Tuto studii zahájili v důsledku zlepšování mokré depozice. V tabulce 6 máme hodnoty o okrese Opava, ze Španělska a z Japonska.

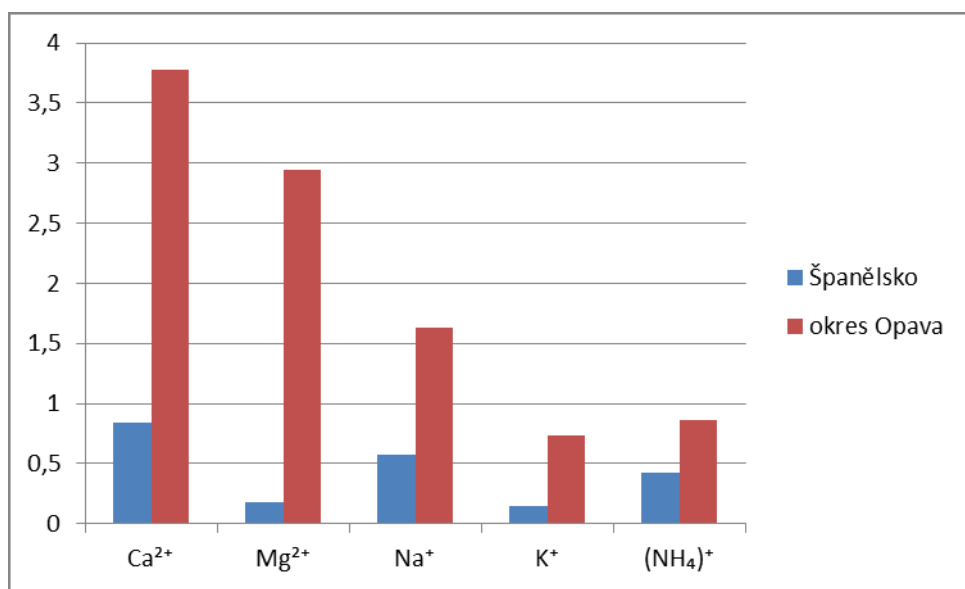
Tabulka 6 Celkové hodnoty

Území	pH	Vodivost μS/cm	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> mg/l	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> mg/l	(NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> mg/l
okres Opava	6,89	36,35	3,78	2,94	1,63	0,73	1,71	3,47	2,06	0,86
Španělsko	6,4	17,8	0,84	0,18	0,57	0,15	1,25	1,81	1,56	0,43
Japonsko	--	--	--	--	--	--	--	1,96	1,29	--

**Graf 6 Hodnoty pH a vodivosti**



**Graf 7 Hodnoty vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a amonného kationu**

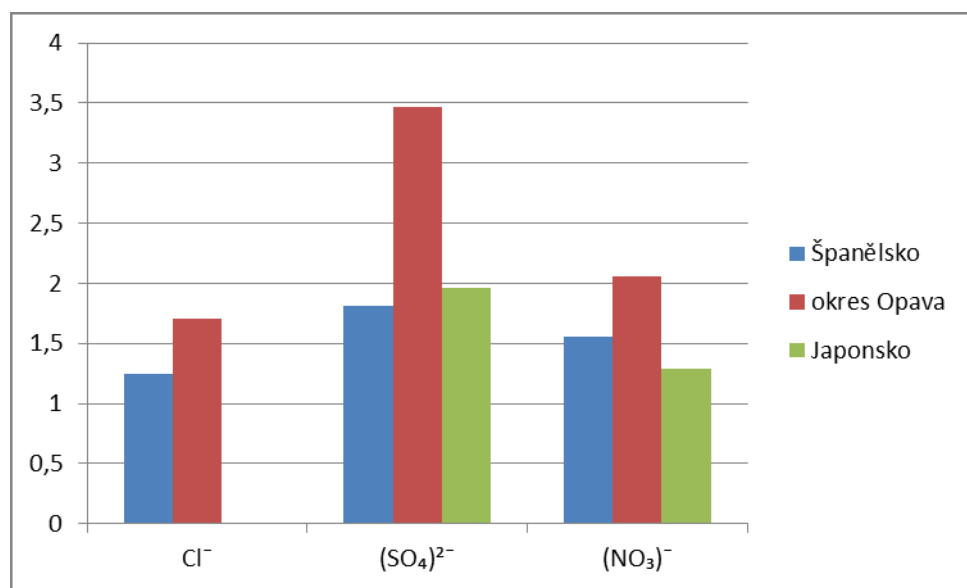


V grafu 6 jsou znázorněny pouze hodnoty z okresu Opava a ze Španělska, jelikož tyto hodnoty se v Japonsku neměřily. V obou územích se pH vody pohybuje přibližně stejně, avšak o pár desetin je pH vyšší v okrese Opava než ve Španělsku, ale rozdíl je poměrně zanedbatelný. Vodivost je v Opavě vyšší, ale jak již bylo zmiňováno důvodem

vysoké vodivosti v okrese Opava, byla způsobená inverzí a vysokým antropogenním znečištěním. Ve Španělsku je tato hodnota asi o polovinu nižší.

V grafu 7 jsou také prvky znázorněny pouze ze Španělska a z okresu Opava. Hodnoty vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a amonného kationu jsou značně vyšší v okrese Opava než ve Španělsku. Důvodem může být mořská a pouštní část.

**Graf 8 Hodnoty chloridu, síranu a dusičnanů**



V grafu 8 můžeme vidět hodnoty i z Japonska. V Japonsku byly sledovány pouze sírany a dusičnany. Mimo to zde ještě porovnáme chloridy, které jsou v okrese Opava o čtvrtinu vyšší než ve Španělsku. Sírany jsou 2x větší než ve Španělsku a Japonsku. Nejméně síranu bylo naměřeno ve Španělsku, ale rozdíl s Japonskem je minimální. Dusičnany jsou také nejvyšší v okrese Opava. Nejméně dusičnanu bylo naměřeno v Japonsku. Asi o 1/5 jsou dusičnany vyšší ve Španělsku než v Japonsku.

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provedení monitoringu mokré depozice v průběhu zimního období na vybraných lokalitách území okresu Opava. Z analýzy vyplývá, že nejvíce zatížená lokalita byla číslo 4 (město Opava). Důvodem byly různé zdroje znečištění, která zatěžují danou lokalitu. Vysoké hodnoty byly způsobeny především průmyslovým odvětvím. Další zdroje pocházejí ze spalování fosilních paliv, z výfukových plynů, z hromadné automobilové a nákladní dopravy, nebo také ze železniční dopravy. Posledním důvodem byla inverze, která způsobila extrémní výkyvy hodnot. Nejméně zatíženou oblastí byla lokalita číslo 2 (Dolní Benešov). Zde byly hodnoty nejnižší, hlavním zdrojem znečištění je velmi frekventovaná silnice I. třídy číslo 56, která městem prochází a je spojnici mezi městy Ostrava a Opava.

Po srovnání s dalšími okresy České republiky jsem zjistila, že je na tom sledovaný okres Opava je na tom velmi dobře, nejlépe na tom byl okres Uherské Hradiště. Hodnoty v okrese Opava byly o něco vyšší než v okrese Uherské hradiště, ale rozdíly nebyly nijak značné. I když v okrese Opava máme různé zdroje znečištění a poměrně rozšířené v celé oblasti okresu a i Moravskoslezského kraje, nebo také problémy s životním prostředím kvůli příhraniční poloze, kdy sousedíme ze severní části s Polskou republikou. Avšak po srovnání se zahraničím jsme na tom byli už o něco hůře, ale důvodem může být podnebí a klima.

Na tuto práci bych chtěla navázat svou diplomovou prací, ve které bych se zaměřila na odběr vzorků celoročně, čili během topné i mimotopné sezóny a rozšířila bych odběry vzorků na celý Moravskoslezský kraj. Dále bych se chtěla zaměřit na suchou depozici a roční intenzitu mokré a suché depozice. Data bych měřila v určitých intervalech buď v týdenních, nebo měsíčních.

## 7 Seznam použité literatury

BLAŽEK, Zdeněk. *Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy: Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w obszarze przygranicznym Śląska i Moraw = The influence of meteorological conditions on air quality in the border region of Silesia and Moravia*. Vydání první. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, 2013, 181 pages. ISBN 83-611-0279-5.

BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ (eds.). *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Vyd. 1. V Praze: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.

ČSN 75 7346: 2002. Jakost vod – Stanovení rozpuštěných látek. Praha: Český normalizační institut, 2002. 12 s.

ČSN EN 872: 2005. Jakost vod – Stanovení nerozpuštěných látek. Praha: Český normalizační institut, 2005. 12 s.

DEMEK, Jaromír, a kolektiv. *Geomorfologie českých zemí*. Praha: ČSAV, 1965. 335 s.

DEMEK, Jaromír a Peter MACKOVČIN (eds.). *Zeměpisný lexikon ČR*. Vydání 3. přepracované. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-113-0.

Draaijers, G.P.J., Van Leeuwen, E.P., De Jong, P.G.H., Erisman, J. W., 1997. Base-cation deposition in Europe – Part II. Acid neutralization capacity and contribution to forest nutrition. *Atmos. Environ.* Vol. 31., No. 24, 4159-4168.

FERNANDÉZ-RADA a R. FRAILE. Chemical composition of wet precipitation at the background EMEP station in Viznar (Granada, Spain) (2002-2006). *Atmospheric Research*. 2010, 96(2-3): 408-420. DOI: 10.1016/j.atmosres.2010.01.013. ISSN 0169-8095

FRANK, Miroslav. *Opavsko zblízka: příroda, historie, památky*. Vyd. 3., rozš. Praha: Nadatur, 2005, 134 s. ISBN 80-7270-024-3.

Gryniewicz, M., Polkowska, Ż., Zygmunt, B., Namieśnik, J., 2002. *Atmospheric precipitation sampling for analysis*. Pol. Jour. of Environ. Stud., Vol. 12, No. 2: 133-140

HRUŠKA, J., KOPÁČEK, j., 2005. *Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost*.

HOSÁK, Ladislav. *Historický místopis země Moravskoslezské*. Vyd. 2. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1225-7.

HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. (2004): *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*, Karolinum, Praha, str. 143

CHLUPÁČ, Ivo. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 2., opr. Praha: Academia, 2011. Neživá příroda. ISBN 978-80-200-1961-5.

KAJINO, Mizuo a Masahide AIKAWA. A model validation study of the washout/rainout contribution of sulfate and nitrate in wet deposition compared with precipitation chemistry data in Japan. *Atmospheric Environment* [online]. 2015, **117**, 124-134 [cit. 2016-04-22]. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.06.042. ISSN 13522310. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231015301850>

KREJČÍ, Vladimír a Willi GUJER. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Vyd. 1. Editor Petr HLAVÍNEK, editor Evžen ZEMAN. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8

KRUPA, S.V, 2002. *Sampling and physico-chemical analysis of precipitation: a review*. Environ. Pol., 120: 565-594.

KUBAČKA, M. Chráněná území Opavska. Statutární město Opava: 2004

LV, Yanna, Congyan WANG, Yanyan JIA, Wenwen WANG, Xu MA, Jingjing DU, Gaozhong PU a Xingjun TIAN. Effects of sulfuric, nitric, and mixed acid rain on litter decomposition, soil microbial biomass, and enzyme activities in subtropical forests of China. *Applied Soil Ecology*. 2014, **79**, 1-9. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.12.002. ISSN 09291393.

Morselli, L., Bernardi, E., Vassura, I., Passarini, F., Tesini, E., 2010. Chemical composition of wet and dry atmospheric depositions in an urban environment: local, regional and long-range influences. *J. Atmos. Chem.*

MÜLLER, Karel, Rudolf ŽÁČEK a Martin ČAPSKÝ. *Opava*. Vyd. 1. Praha: NLN, Nakladatelství Lidové noviny, 2006, 611 s., [16] s. barev. obr. příl. Dějiny českých, moravských a slezských měst. ISBN 80-7106-808-x.

PACIORKOVÁ, Jarmila. *Suché Lazce: Klimatologie*. 2008

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 3. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-340-1.

PLAČEK, Vilém a Magda PLAČKOVÁ. *Dolní Benešov a Zábřeh v proměnách času--*. Dolní Benešov: Městský úřad, 2002, 316 s. ISBN 80-86458-09-1.

ŘEZÁČOVÁ, Daniela. *Fyzika oblaků a srážek* [1 DVD]. Vyd. 1. Praha: Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1505-1.

Skarżyńska, K., Polkowska, Ż., Namieśnik, J. (2006): Sample Handling and Determination of Physico-Chemical Parameters in Rime, Hoarfrost, Dew, Fog and



Cloud Water Samples - a Review. Polish Journal of Environmental Studies 15, 185–209.

ŠILAR, Jan. *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996. Phare, sv. 16. ISBN 80-7078-361-3..

ŠÍR, Miloslav a Miroslav TESAŘ (eds.). *Atmosférická depozice 2004*. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, 2004, 136 s. ISBN 80-02-01659-9.

ŠTĚPÁN, Václav. *Dějiny obce Závada: historie hlučínské obce a jejího okolí*. Opava: Obec Závada u Hlučína, 2007, 248 s. ISBN 978-80-239-8986-1.

TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1

VENCÁLEK, František. *Severní Morava a české Slezsko: geografie místního regionu pro základní školy*. 1. vyd. Český Těšín: Olza, 1995.

VYSOUDIL, Miroslav. *Ochrana ovzduší*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002, ISBN 80-244-0400-1.

VYSOUDIL, Miroslav. *Meteorologie a klimatologie*. 2. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2006. ISBN 80-244-1455-4.

WEISSMANNOVÁ, Hana. *Ostravsko*. Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2004. Chráněná území ČR. ISBN 80-86064-67-0.

ZÁVĚŠICKÝ, David. *Suché Lazce: charakteristika obce* [online]. 2010 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: [www.suchelazce.cz](http://www.suchelazce.cz)

ZAPLETAL, Miloš. *Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice*. Opava: Slezská univerzita, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav historických věd, 2014. ISBN 978-80-7510-085-6.

## 8 Seznam elektronických zdrojů

Atmosférická depozice na území ČR. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2013 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/IX\\_depozice\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/13groc/gr13cz/IX_depozice_CZ.html)

BRANDOS, Otakar. Geomorfologické členění ČR: Okres Opava. *Treking* [online]. 2009, [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.treking.cz/regiony/geomorfologicke-cleneni-ceske-republiky.htm>

Český statistický úřad: okres Opava. *Český statistický úřad: okres Opava* [online]. Opava, 2012 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/xt/charakteristika\\_okresu\\_opava](https://www.czso.cz/csu/xt/charakteristika_okresu_opava)

Měsíční analýza týdenních údajů: Bílý kříž. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2014 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/2014\\_enh/precipitation\\_week\\_recalc/month\\_TBKRF\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2014_enh/precipitation_week_recalc/month_TBKRF_CZ.html)

Znečištění ovzduší a atmosférická depozice v datech, Česká republika: Tabelární ročenky. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2014 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/tab\\_roc\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html)

## 9 Seznám použitých obrázků

Český statistický úřad: okres Opava. *Český statistický úřad* [online]. 2008 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z:

[https://www.czso.cz/csu/xt/okres\\_opava\\_v\\_mapach\\_a\\_kartogramech](https://www.czso.cz/csu/xt/okres_opava_v_mapach_a_kartogramech)

google.cz/maps: Výřez z mapy. Okres Opava v měřítku 1:25 000, 2016. [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z:

<https://www.google.cz/maps/place/Opava/@49.893016,17.6403644,10z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x4713d90e39cc1c43:0x300af0f6614adb0?hl=cs>

HŮNOVÁ, I., JANOUŠKOVÁ, S. (2004): *Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší*, Karolinum, Praha, str. 143

CHŘÍBKOVÁ, Soňa. Odběrová nádoba a plastová vzorkovnice, 2016.

CHŘÍBKOVÁ, Soňa. Grafické znázornění lokality číslo 1,2,3 a 4, 2016.

CHUMAN, Tomáš, *Monitoring malých lesních povodí* [online]. 2012 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/geomon/o-projektu>

IZQUIERDO, Rebeca a Anna AVILA. Comparison of collection methods to determine atmospheric deposition in a rural Mediterranean site (NE Spain). *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2012, vol. 69, issue 4, s. 351-368. DOI: 10.1007/s10874-012-9246-1. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10874-012-9246-1>

mapy.cz: Závada v měřítku 1:25 000, 2016. [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.2708000&y=49.9259990&z=11&q=z%C3%A1vada>

mapy.cz: Dolní Benešov, 2016. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.1031627&y=49.9147696&z=13&source=muni&id=4674>

mapy.cz: Dolní Benešov v měřítku 1:25 000, 2016 [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.1031627&y=49.9147696&z=13&source=muni&id=4674>

mapy.cz: Suché Lazce v měřítku 1:25 000, 2016 [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.1031627&y=49.9083580&z=12&q=such%C3%A9%20lazce>

mapy.cz: Opava v měřítku 1:25 000, 2016 [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.1031627&y=49.9083580&z=12&q=opava>

TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav; Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. s 255

ZAPLETAL, Miloš, 2012. Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice, str. 33

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Administrativní mapa okresu Opava (czso.cz, 2008).....	3
Obrázek 2 Průměrný roční úhrn srážek (Tolasz et al., 2007) .....	5
Obrázek 3 Mapa odběrových lokalit v měřítku 1:25 000 (google.cz/mapy [online], 2016)	10
Obrázek 4 Část mapy obce Závada v měřítku 1:25 000 (mapy.cz 2016).....	11
Obrázek 5 Část mapy města Dolní Benešov v měřítku 1:25 000 (mapy.cz [online], 2016)	12
Obrázek 6 Část mapy příměstské části Suché Lazce v měřítku 1:25 000(mapy.cz [online], 2016).....	13
Obrázek 7 Část mapy města Opavy v měřítku 1:25 000(mapy.cz [online], 2016).....	15
Obrázek 8 Procesy způsobující atmosférickou depozici (Hůnová, Janoušková, 2004) .....	16
Obrázek 9 Odběr vzorků metodou "bulk" (Izquierdo, 2012) .....	28
Obrázek 10 Odběr vzorků metodou "wet-only" (Izquierdo, 2012) .....	29
Obrázek 11 Metoda odběru vzorků "throughfall" (Chuman, 2012) .....	30
Obrázek 12 Vztah mezi procesy, emise, přenosu, depozice a účinku acidifikačních látek (Zapletal, 2014).....	31
Obrázek 13 Odběrová nádoba a vzorkovnice (Chříbková. 2016) .....	33
Obrázek 14 Grafické znázornění hodnot lokality č. 1 (Chříbková, 2016).....	37
Obrázek 15 Grafické znázornění hodnot lokality č. 2 (Chříbková, 2016).....	38
Obrázek 16 Grafické znázornění hodnot lokality č. 3 (Chříbková, 2016).....	39
Obrázek 17 Grafické znázornění hodnot lokality č. 4 (Chříbková, 2016).....	41
Obrázek 18 Faktor nabohacení z území okresu Opava (Chříbková, 2016) .....	42

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Geomorfologické jednotky Opavska (Demek a Mackovčín, 2014) .....	7
Tabulka 2 Označení lokalit .....	10
Tabulka 3 Celkové hodnoty z odběrových lokalit .....	36
Tabulka 4 Lokalita Bílý kříž (Český hydrometeorologický ústav [online], 2014) .....	42
Tabulka 5 Okresy ČR (Český hydrometeorologický ústav, 2013/2014) .....	44
Tabulka 6 Celkové hodnoty .....	48

## Seznam grafů

Graf 1 Vodivost .....	45
Graf 2 Celkové hodnoty draslíku, chloridu a amonný kation .....	45
Graf 3 Celkové hodnoty pH a hořčíku .....	46
Graf 4 Celkové hodnoty síranu a dusičnanu .....	47
Graf 5 Celkové hodnoty vápníku a sodíku .....	47
Graf 6 Hodnoty pH a vodivosti .....	49
Graf 7 Hodnoty vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a amonného kationu .....	49
Graf 8 Hodnoty chloridu, síranu a dusičnanů .....	50